



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

DOTTORATO DI RICERCA IN ELETTRONICA APPLICATA

XVI CICLO

**ANALISI DELLA CATENA DEL VALORE
DELL'ECOSISTEMA DIGITALE:
COSTI, RICAVI E *PRICING* DEI SERVIZI**

Dott. MAURO UGOLINI

Dottorando

firma

Prof. ALESSANDRO NERI

Docente Guida / Tutor

firma

Prof. FRANCO MAZZENGA

Co-Tutor

firma

Prof. ALESSANDRO SALVINI

Coordinatore

firma

**ANALISI DELLA CATENA DEL VALORE
DELL'ECOSISTEMA DIGITALE:
COSTI, RICAVI E *PRICING* DEI SERVIZI**

*In memoria di mio padre,
Amerigo,
che mi ha trasmesso per primo
la passione per l'Ingegneria*

INDICE

Elenco delle figure	9
Introduzione.....	13
Scenari futuri per le Telecomunicazioni	21
L'industria delle reti.....	21
Il settore delle Telecomunicazioni	25
<i>Cambiamenti del modello di business</i>	25
<i>Cambiamenti del modello operativo</i>	28
La direzione futura del mercato	31
<i>Scenario 1: Aziende di rete</i>	31
<i>Scenario 2: Data Utilities</i>	32
<i>Scenario 3: Premium Players</i>	32
<i>Scenario 4: Navigatori digitali</i>	33
Aspetti rilevanti dell'Economia delle reti	35
Domanda, offerta e meccanismi di mercato.....	35
Il contesto della determinazione dei prezzi (<i>pricing</i>).....	36
Massimizzazione del beneficio netto del consumatore (<i>surplus</i>).....	37
Modelli per l'Economia delle reti	43
Stato della ricerca	43
Scenari e assunzioni	47
La connettività nel modello a due agenti: Utenti e Operatore di Comunicazione	51
Modelli per il <i>pricing</i> dei servizi a tariffa <i>flat</i>	57
I servizi nel modello a tre agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione e <i>OTT</i>	59
<i>Schemi di pricing per l'OTT</i>	66
<i>Schemi di pricing per l'Operatore di Comunicazione</i>	70
<i>Equilibrio di Stackelberg</i>	72
I servizi nel modello a quattro agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione, <i>CDN</i> e <i>OTT</i>	75
<i>Schemi di pricing per Operatore di Comunicazione, CDN e OTT</i>	79
Modelli per il <i>pricing</i> dei servizi con tariffa a volume	83
I servizi nel modello a tre agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione e <i>OTT</i>	83
<i>Innovazione tecnologica</i>	88
I servizi nel modello a quattro agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione, <i>CDN</i> e <i>OTT</i>	90
Conclusioni.....	97
Bibliografia	101
Ringraziamenti	107

Elenco delle figure

- Figura 1
Previsioni EBITDA Operatori di Telecomunicazione (Europa): traffico in crescita, ricavi stagnanti. Pag. 26
- Figura 2
Previsioni sviluppo Operatori di Telecomunicazione (Europa): nuovi *business*, meno *market share*. Pag. 27
- Figura 3
Per gli Operatori di Telecomunicazione (Europa), i servizi *access-near* sembrano promettenti per la crescita dei ricavi. Pag. 28
- Figura 4
La qualità della rete è la prima preoccupazione degli Operatori di Telecomunicazione (Europa). Pag. 29
- Figura 5
Percorsi a maggior potenziale per gli Operatori di Telecomunicazione (Europa).
..... Pag. 31
- Figura 6
Il consumatore ha una utilità $u(x)$ derivante dalla quantità x di un certo servizio. Nella figura, $u(x)$ è crescente e concava. Dato il vettore dei prezzi p , il consumatore sceglie di acquistare la quantità $x = x(p)$ che massimizza il suo beneficio netto (il *surplus* del consumatore). Da notare che per $x = x(p)$ si ha $\partial u(x)/\partial x = p$ Pag. 38
- Figura 7
Curva della domanda relativa al caso singolo cliente, singolo servizio. La derivata di $u(x)$, rappresentata da $u'(x)$, ha pendenza negativa, e per semplicità in figura è disegnata come una linea retta. L'area sotto $u'(x)$ tra 0 e $x(p)$ è $u(x(p))$, e sottraendo ad essa px (ovvero l'area del rettangolo ombreggiato) si ottiene il *surplus* del consumatore, corrispondente all'area del triangolo ombreggiato. Pag. 40

Figura 8	
Gli attori nel modello a tre agenti (scenario senza <i>CDN</i>) e le relazioni di prezzo nelle transazioni.	Pag. 47
Figura 9	
Scenario 1: distribuzione servizi tradizionale (comunicazioni senza <i>CDN</i>).	Pag. 48
Figura 10	
Scenario 2: distribuzione servizi evoluta (comunicazioni con <i>CDN</i>). Grazie alla <i>cache</i> , non è necessario il <i>download</i> contenuti / applicazioni dell' <i>OTT</i> ad ogni richiesta dell'Utente.	Pag. 48
Figura 11	
Gli attori nel modello a quattro agenti (scenario con <i>CDN</i>) e le relazioni di prezzo nelle transazioni.	Pag. 49
Figura 12	
Modello semplificato a due agenti per l'Accesso alla rete: attori e prezzo della transazione.	Pag. 51
Figura 13	
Ricavi dell'Operatore di Telecomunicazioni <i>NSP</i> e <i>social welfare</i>	Pag. 55
Figura 14	
<i>Social welfare</i> , <i>welfare</i> dell'Operatore di Telecomunicazioni <i>NSP</i> e <i>welfare</i> degli Utenti <i>USR</i>	Pag. 56
Figura 15	
Gli attori nel modello a tre agenti (scenario senza <i>CDN</i>) e le relazioni di prezzo nelle transazioni.	Pag. 59
Figura 16	
Profitto normalizzato dell' <i>OTT</i>	Pag. 63
Figura 17	
Profitto normalizzato dello <i>NSP</i>	Pag. 65

Figura 18	
Profitto normalizzato dell' <i>OTT</i> per diversi valori dello sconto sulle tariffe applicate dallo <i>NSP</i> .	
.....	Pag. 66
Figura 19	
Profitto normalizzato dell' <i>OTT</i> per diversi valori di penetrazione del servizio.	
.....	Pag. 68
Figura 20	
Profitto normalizzato dell' <i>OTT</i> per valori "realistici" della penetrazione del servizio e dello sconto sulle tariffe applicate dallo <i>NSP</i> .	
.....	Pag. 69
Figura 21	
Profitto normalizzato dell'Operatore di Telecomunicazioni <i>NSP</i> per valori diversi della penetrazione del servizio <i>OTT</i> e dello sconto sul prezzo della connettività applicato all' <i>OTT</i> .	
.....	Pag. 71
Figura 22	
Gli attori nel modello a quattro agenti (scenario con <i>CDN</i>) e le relazioni di prezzo nelle transazioni.	
.....	Pag. 76
Figura 23	
Profitto normalizzato dei Fornitori e <i>social welfare</i> nel modello a quattro agenti.	
.....	Pag. 79
Figura 24	
<i>Social welfare</i> e profitto normalizzato dei Fornitori in presenza di "sconti realistici" sulla connettività per <i>CDN</i> e <i>OTT</i> .	
.....	Pag. 80
Figura 25	
<i>Social welfare</i> e profitto normalizzato dei Fornitori in presenza di "forti sconti" sulla connettività per <i>CDN</i> e <i>OTT</i> .	
.....	Pag. 82

Introduzione

L'attività di ricerca svolta durante il Dottorato si è concentrata sull'esame della relazione tra complessità, innovazione e tecnologia, nel contesto dell'evoluzione delle reti di comunicazione di ultima generazione per la diffusione di servizi digitali.

L'innovazione è un fattore critico di progresso. La tecnologia è uno dei principali elementi che abilitano l'innovazione. La gestione della complessità è una necessità imposta dalla diffusione dell'innovazione [Benkirane 2007] [Bocchi 2007] [De Toni 2007] [Chaitin 2006].

L'importanza attribuita al tema di ricerca deriva dalla consapevolezza che l'Economia delle reti di comunicazione e i modelli matematici sviluppati per comprenderne caratteristiche e natura rappresentino la chiave per capire le relazioni tra gli attori dell'ecosistema, non solo dal punto di vista della ricerca scientifica [Neri 2011], ma anche da quello della politica e del mercato [Ugolini 2013].

A fondamento dello studio effettuato vi sono la crescente importanza delle reti evidenziata dall'incremento del traffico dati [Easley 2010] [Newman 2010, 2006], l'incessante evoluzione delle infrastrutture, le correlazioni emergenti tra struttura di rete e modelli economici [Caron 2010], il ruolo chiave di *Internet* quale paradigma di convergenza delle reti [Neri 2012].

L'interesse per il tema di ricerca subisce continue evoluzioni, così come il settore stesso delle Telecomunicazioni, con il modello di *Internet*, la "rete delle reti", sempre più discusso [Buschmann 2013], perchè le imprese sono obbligate a ricercare continuamente nuove fonti di ricavo per sostenere gli ingenti investimenti per l'evoluzione delle infrastrutture, sviluppando schemi di *pricing* per i servizi che rendano l'offerta profittevole e attraente, senza rischiare di finire fuori mercato [Park 2005]. All'orizzonte, si profila il culmine di questa evoluzione: un mondo "complesso e connesso" (la *Networked Society*), dove capacità di comunicazione e intelligenza pervadono l'ambiente [Ugolini 2011].

Il raggiungimento di questo obiettivo è però subordinato allo sviluppo di una rete di comunicazione con caratteristiche adeguate alla diffusione dei nuovi servizi digitali. Le continue richieste di espansione della capacità di rete, pertanto, si accompagnano, oltre che

alla identificazione di nuove fonti di ricavo, necessarie per coprire i costi, all'individuazione di modelli economici per i servizi, necessari per assicurare la sostenibilità degli investimenti in nuove tecnologie [Ugolini 2010].

Gli interrogativi a cui le imprese del settore delle Telecomunicazioni devono oggi trovare risposta sono perciò molteplici, e nascondono elementi d'interesse per analisi tecnico-economiche sempre più sofisticate. Tra essi, si possono ricordare gli schemi di *pricing* più profittevoli per l'accesso in rete [Acemoglu 2009], i tipi di tecnologia su cui concentrare gli investimenti, i modelli economici d'interazione con gli attori dell'ecosistema dei servizi, la sostenibilità della *grids/cloud economy*, le nuove architetture per le *CDN (Content Delivery Networks)* e il *caching* contenuti, e così via.

Uno degli scopi di questo lavoro è stato quello di integrare alcune teorie economiche (tratte principalmente dalla microeconomia e dall'organizzazione industriale) con aspetti di tecnologia e di ricerca operativa, facendo ricorso a strumenti formali, dove necessario, per l'analisi di costi, ricavi e prezzi [Courcoubetis 2003]. Combinando infatti le teorie economiche con le conoscenze di tecnologia si può migliorare significativamente la comprensione delle scelte strategiche di imprese che competono su un identico mercato.

Per raggiungere questo obiettivo, sono stati sviluppati alcuni modelli dell'ecosistema dei servizi digitali, a complessità crescente. In letteratura si trovano già rappresentazioni schematiche di questa filiera, che a una analisi approfondita risultano simili più a "concettualizzazioni" che a illustrazioni sufficientemente accurate della complessità del settore. Tali modelli sono spesso utilizzati per analizzare aspetti specifici della relazione tra un numero limitato di tipologie di imprese della filiera per volta ("agenti"), senza tener conto della profonda articolazione della catena del valore *reale* per la produzione dei servizi di telecomunicazione [Arlandis 2011]. Le relazioni tra imprese descritte in questi modelli, inoltre, non tengono conto di aspetti di mercato spesso rilevanti nel determinare le proprietà complessive dell'ecosistema (concorrenza, collusione, ricavi alternativi a quelli dell'attività operativa, nuove architetture per la fornitura dei servizi, etc.). I modelli di letteratura risultano altresì delle "generalizzazioni", per un duplice ordine di motivi: innanzitutto, riflettono in modo parziale la situazione delle imprese del settore in aree geografiche specifiche, e sono spesso predisposti per "catturare" solo aspetti economici, oppure solo tecnologici, di un problema relativo a una parte della filiera stessa. Modelli che descrivano le relazioni economiche tra imprese della filiera, integrando gli aspetti economici e quelli tecnologici sottostanti, per una descrizione appropriata della complessità della situazione reale, sono tutt'altro che frequenti.

Per contribuire al superamento di queste ed altre difficoltà nella modellazione, è stato sviluppato un modello *multi-level* dell'ecosistema, in cui figurano le principali tipologie di imprese (attori o agenti) della filiera, e le relazioni intercorrenti tra queste sono espresse in termini di quantità e prezzo dei servizi scambiati nelle transazioni, con le quantità che si suppongono note e il prezzo incognito.

I modelli che sono stati elaborati consentono l'analisi del flusso del valore dei servizi. Prima del loro sviluppo, particolare attenzione è stata posta alla valutazione degli strumenti per l'analisi delle proprietà dell'ecosistema dei servizi considerati [Sydsaeter 2008]. In una prima fase del lavoro, si è pensato di ricorrere a strumenti di simulazione basati sulla modellazione "ad agenti interagenti" [D'Inverno 2010] [Mitchell 2009] [North 2007] [Tsefatsion 2006] [Axelrod 1997]. Nel corso dello studio si è notato come, a seconda delle situazioni considerate, siano stati impiegati nelle indagini sia strumenti di tipo simulativo che analitico. E' stato perciò ampliato lo spettro delle tecniche di analisi considerate, effettuando una valutazione dell'applicabilità, nelle situazioni d'interesse, di strumenti propri della Teoria dell'Ottimizzazione [Andréasson 2007], della Dinamica dei Sistemi [Forrester 2013] [Sterman 2000] e della Teoria dei Giochi [Dutta 1999] [Osborne 1994] [Fudenberg 1991].

Nel caso della Teoria dei Giochi, in particolare, è stata studiata la possibilità di applicare diverse tipologie di gioco alle relazioni tra agenti descritte nel modello, arrivando alla conclusione che, facendo uso esclusivo di tali metodi, è possibile solo "concettualizzare" la realtà per descrivere situazioni specifiche - piuttosto che rappresentare adeguatamente situazioni reali, con l'obiettivo della identificazione di proprietà complessive del sistema.

Il risultato delle valutazioni eseguite ha portato, nelle fasi finali del lavoro, alla messa a punto di un approccio "ibrido", in cui la soluzione di problemi specifici è stata ricercata facendo ricorso a metodi analitici integrati con tecniche simulate. Più specificamente, i risultati dello studio delle proprietà dei diversi modelli elaborati sono stati ricavati utilizzando *funzioni obiettivo*, definite *per ciascun tipo* di agente, in ognuno dei livelli del modello. Attraverso queste funzioni è stata peraltro analizzata la strategia di competizione delle imprese che, nell'esecuzione delle varie transazioni all'interno dell'ecosistema, sono guidate dal criterio della massimizzazione dei profitti, intesi come differenza tra costi e ricavi derivanti dall'offerta dei servizi.

La necessità di specificare le funzioni obiettivo per i diversi agenti ha portato ad ulteriori approfondimenti, nel lavoro di ricerca, in merito al tema dei costi. L'analisi della relativa letteratura, eseguita con l'obiettivo di trovare una soluzione al problema di una modellazione

efficace dei costi, ha infatti evidenziato che, fatte salve poche eccezioni riferite per lo più alla modellazione dei costi per l'accesso in fibra, generalmente si ricorre ad approcci di tipo "matematico", ove i costi sono modellati facendo ricorso ad espressioni analitiche, di complessità crescente (funzioni costanti o lineari, quadratiche, cubiche), senza però tenere conto delle specificità del settore. E' stata perciò effettuata una ricognizione delle tipologie di costo sostenute dai diversi agenti del modello, inserendo le relative espressioni nelle appropriate funzioni obiettivo e riservando l'uso di formulazioni matematiche come quelle di letteratura [Kelly 2000] solo nel caso di totale assenza di informazioni (dovuta a vincoli di sicurezza e/o riservatezza industriale).

Approfondendo gli aspetti di costo nel modo descritto è stato possibile procedere al superamento di un ulteriore limite della modellazione dell'ecosistema dei servizi digitali. E' infatti innegabile che, nonostante l'importanza crescente del ruolo di alcune tipologie di imprese del settore (come gli *OTT, Over-the-Top Providers*), dovuta all'espansione del loro *business*, il ruolo dell'Operatore di Telecomunicazioni (*NSP, Network Service Provider*) resta centrale. Qualunque modello del settore, evidentemente, deve riflettere questo aspetto, se l'accuratezza della descrizione rientra negli obiettivi dell'indagine. Nei modelli di letteratura, invece, la rappresentazione dell'ecosistema è "neutra", nel senso che non vengono normalmente attribuiti "pesi" diversi ai ruoli di agenti di diversa natura, sebbene sia evidente che spesso l'Operatore di Telecomunicazioni fornisca servizi distinti a soggetti di natura differente, e sia il possessore di gran parte degli *asset* delle moderne reti di comunicazione, con la responsabilità degli investimenti necessari per assicurarne l'evoluzione tecnologica.

Proprio la considerazione della peculiarità del ruolo dell'Operatore di Telecomunicazioni nel corrente ecosistema digitale ha fornito il criterio per lo sviluppo di una "piattaforma" per l'analisi e la simulazione delle proprietà dell'ecosistema che fosse utilizzabile in direzioni che corrispondono a temi di specifico interesse dell'Operatore - ad esempio, l'accesso a larga banda e la distribuzione di contenuti e/o applicazioni. Infatti, se è vero che la formalizzazione delle relazioni tra gli agenti inclusi nei modelli sviluppati consente, una volta identificati i costi dei servizi di competenza di ciascuno dei soggetti dell'ecosistema, di determinare il prezzo che renda l'offerta di quegli stessi servizi attraente per l'utente finale, profittevole e sostenibile per il soggetto responsabile del loro *delivery*; è però altrettanto vero che, partendo da una analisi dei prezzi correnti dei servizi digitali, e conoscendo le quantità dei servizi "scambiate" fra i diversi attori dell'ecosistema, è possibile andare a valutare il livello dei costi (e quindi degli investimenti) che possono esser sostenuti da un'impresa che voglia mantenere determinati livelli di profittabilità. Si possono inoltre svolgere analisi di tipo ancora più

avanzato, per giungere ad esempio a valutare, come fatto nel lavoro, l'impatto dell'evoluzione tecnologica sulla possibilità di contenere e/o rinviare investimenti ingenti per la manutenzione e/o modernizzazione dell'infrastruttura tecnologica.

A questo proposito, punto di riferimento in tutto il lavoro svolto è stata la situazione della rete per le Telecomunicazioni nel nostro Paese. Immaginando una suddivisione schematica negli elementi "contenuti/applicazioni", "trasporto", "accesso", alcuni potenziali elementi di criticità risultano localizzati nella gestione di contenuti/applicazioni e dell'accesso - dal momento che, alla luce dei dati di traffico disponibili, le risorse della rete di trasporto sono state originariamente "sovradimensionate" all'atto della loro progettazione / implementazione e sono ad oggi ancora lontane da condizioni di saturazione.

Con riferimento alle criticità relative a questi specifici aspetti, l'efficacia degli strumenti di analisi sviluppati in questo lavoro è stata verificata producendo elementi quantitativi utili a far luce sulle criticità descritte in precedenza. Ad esempio, una distribuzione dei contenuti efficace, efficiente ed eseguita secondo *standard* di qualità adeguati, è oggi un elemento critico per l'economia dell'intero ecosistema digitale [Hosanagar 2004] - oltre che essere fattore distintivo della convergenza sempre più evidente tra il settore dell'*ICT* (*Information & Communication Technology*) e il settore dei *Media* (si parla infatti ormai di settore *ICTM*, a sottolineare la profondità e la rapidità della convergenza in atto).

Nelle architetture di servizio più avanzate, la distribuzione dei contenuti si effettua ricorrendo a servizi basati sulla infrastruttura delle *Content Delivery Network* (*CDN*), mediante i quali un soggetto specializzato (*CDN Provider*), o un fornitore di servizi *Internet* a larga scala (*OTT*) proprietario di una *CDN*, oppure ancora un Operatore di Telecomunicazioni con offerta di servizi *CDN* a portafoglio, assicurano ai clienti la memorizzazione e la distribuzione di contenuti multimediali con determinati requisiti di servizio, predisponendo una opportuna architettura di rete in cui giocano un ruolo fondamentale il numero, la tipologia e la localizzazione dei cosiddetti *cache servers*.

La necessità di distribuire contenuti multimediali ad un numero sempre maggiore di utenti, garantendo i livelli di Qualità del Servizio (*QoS*) stabiliti e le prestazioni sempre più elevate richieste dagli *standard* tecnologici recenti, ha finora trovato risposta nell'incremento del numero, della densità spaziale e/o delle prestazioni dei *cache server*, con una allarmante crescita degli investimenti per la realizzazione, la manutenzione e la gestione di queste reti. Il lavoro di ricerca in corso ha cercato in questo caso di fornire elementi per consentire il passaggio a strategie di soluzione più sostenibili: ad esempio, passando dalla gestione

corrente in *best effort* del traffico di rete ad una gestione in cui si introduce e garantisce un appropriato livello di *QoS*, prima ancora di valutare l'impatto sulla densità e/o sulla distribuzione dei *cache server* della *CDN*, quali sono gli effetti sui relativi costi, per valori fissati dei prezzi dei servizi?

Un altro tema di forte interesse per l'Operatore di Telecomunicazioni (nel ruolo di *Access Provider*, fornitore d'accesso alla rete) riguarda la scelta della soluzione tecnologica opportuna per garantire livelli prestazionali adeguati alla distribuzione di contenuti video a definizione sempre maggiore (*Standard 4k*, ad esempio), contenendo gli investimenti per eventuali modifiche strutturali alle reti d'accesso o, meglio ancora, capitalizzando opportunamente gli investimenti sinora sostenuti per la gestione dei servizi attraverso la rete capillare basata sul doppino in rame.

Vi è forte attesa, al momento, per lo sviluppo di soluzioni per l'accesso ad *Internet* su rete fissa basate sullo standard *G.Fast* - una tecnologia *DSL (Digital Subscriber Line)* che consente velocità tra 150 Mbit/s e 1 Gbit/s per distanze brevi (inferiori a circa 250m) tra centrale e utilizzatore. L'ipotesi attuale d'impiego (futuro) di queste soluzioni resta quella delle architetture ibride rame-fibra, secondo lo schema *FTTDp (Fiber To The Distribution point)*, in cui gli opportuni requisiti prestazionali sarebbero garantiti da collegamenti in fibra tra *Central Office* e *Distribution Point*, con impiego di tecnologia *G.Fast* nel collegamento *Distribution Point* - utente finale. Col lavoro di ricerca in corso si sono per il momento gettate le basi per fornire, in eventuali analisi successive, risposte a domande come le seguenti: cosa si può dire sulla relazione tra gli investimenti necessari per implementare una adeguata distribuzione spaziale dei *Distribution Point* e il prezzo di vendita dei servizi di connettività a larga banda? Quali potrebbero essere gli impatti dell'utilizzo di tecnologie *DSL* alternative rispetto al *G.Fast* ma già disponibili (ad esempio, le tradizionali *V-DSL*)? Emerge chiaramente da quanto sin qui descritto che gli sviluppi della ricerca svolta si prestano ad applicazioni che possono aiutare a chiarire questioni importanti per tutti gli attori dell'ecosistema digitale. L'approccio sviluppato nel lavoro consente l'esame dei problemi secondo due dimensioni di particolare rilevanza, quella economica e quella tecnologica, fornendo elementi utili sia sotto il profilo dell'indagine scientifica, che sotto il profilo del *business* (e in ultima analisi sotto il profilo politico-sociale...).

Tutto ciò è stato eseguito riservando una particolare attenzione al linguaggio utilizzato nella divulgazione dei risultati scientifici. Si è osservato infatti che gli studiosi costruiscono talvolta modelli basati su lunghe derivazioni contenenti spesso grandi quantità di algebra... che forse

non sono sempre necessarie. Relativamente diffusa è l'opinione che un'algebra particolarmente complessa renda le tesi contenute in un lavoro scientifico più "robuste".

Vi sono tuttavia due importanti argomenti contro l'orientamento prevalente descritto. Innanzitutto, un modello davvero "robusto" non esiste. In realtà, ogni modello ha le sue assunzioni, che limitano per definizione l'applicabilità stessa del modello. In secondo luogo, e questo è l'argomento di gran lunga più importante, i modelli fondati più sulla logica che sull'algebra risultano più "robusti" (cioè più "generali", nel linguaggio comune) dei modelli basati su equazioni complesse, ricavate con ragionamenti talvolta così lunghi che le dimensioni stesse finiscono per superare l'ampiezza del lavoro di cui sono parte.

Il presente lavoro di Tesi è organizzato come segue.

Nel Capitolo introduttivo sono brevemente descritti il tema oggetto di studio, gli elementi d'interesse e l'importanza di questi. Si fa cenno ai principali risultati, in particolare la costruzione di modelli *multi-level* dell'ecosistema per l'innovazione dei servizi digitali, costruiti per effettuare valutazioni tecnico-economiche d'impatto dell'evoluzione tecnologica, con riferimento a varie criticità di interesse per l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP*, quali ad esempio la distribuzione dei contenuti e l'accesso a larga banda.

Nel Capitolo 1 sono illustrate le sfide correnti del settore delle Telecomunicazioni in Europa, con particolare riguardo ai cambiamenti del modello di *business* e a quelli del modello operativo, e si cerca di fornire una chiave interpretativa del significato dei cambiamenti in termini di scenari futuri e ruolo degli Operatori di Telecomunicazione nella catena del valore del settore. Si forniscono elementi utili alla identificazione della direzione futura del mercato, con l'obiettivo di delineare il quadro delle iniziative strategiche possibili per gli operatori che vogliono essere protagonisti, e non spettatori, del cambiamento in atto.

Nel Capitolo 2 si descrive l'importanza dell'Economia delle reti, uno dei campi d'indagine a più rapido sviluppo nell'ambito delle discipline economiche, analizzando alcuni concetti di base utili per la comprensione del lavoro svolto, quali i principali meccanismi di mercato, le specificità del mercato delle reti, il contesto della determinazione dei prezzi, nonché il "problema del consumatore" e la sua modellizzazione.

Nel Capitolo 3 si presenta il sistema di comunicazione oggetto dell'analisi, descrivendo gli agenti in esso inclusi, le loro relazioni e alcuni scenari tecnico-economici che ne rappresentano il contesto. Si introducono i modelli utilizzati per la rappresentazione del sistema e gli strumenti matematici utilizzati per la formalizzazione delle aspettative degli

agenti. Si procede allo studio dei servizi di connettività offerti al mercato dall'Operatore di Telecomunicazioni, riprendendo e ampliando un modello semplificato disponibile letteratura, che diviene la base per le estensioni e gli sviluppi successivi dell'indagine.

Nel Capitolo 4 si prosegue con l'analisi dell'impatto sul sistema della presenza di un *OTT-Provider* in uno scenario di distribuzione tradizionale dei servizi (senza *CDN*) e nell'ipotesi di *pricing* dei servizi a tariffa *flat*. Dallo studio delle variabili economiche si ricavano schemi di *pricing* per l'*OTT* e per lo *NSP*, delineando possibili strategie competitive per i fornitori, in un regime non cooperativo come quello riscontrabile nella realtà. I risultati dell'analisi trovano conferma nello studio del sistema a tre agenti effettuato con l'approccio tipico dei giochi Stackelberg. Infine, viene introdotta nel sistema una *CDN*, passando a uno scenario di distribuzione dei servizi più evoluto e a un modello a quattro agenti, col quale vengono identificate nuove strategie di *pricing* di tutti i fornitori.

Nel Capitolo 5 i modelli *multi-level* vengono applicati allo studio di alcuni scenari di interesse per la distribuzione di servizi su rete fissa, scenari in cui si analizzano effetti quali l'introduzione di tariffe "a volume" per l'*OTT*, o aspetti quali l'imprevedibilità del traffico generato dalla presenza di una *CDN* nel sistema e il pagamento allo *NSP*, da parte del *CDN-Provider*, di prezzi *extra* dovuti all'aleatorietà dei fenomeni citati. I risultati permettono di fare alcune interessanti riflessioni sul ruolo dell'innovazione tecnologica come leva capace di prolungare la competitività delle infrastrutture tecnologiche di sistemi ad alta intensità di capitale come le moderne reti di comunicazione.

Chiude il lavoro di Tesi una sintesi delle principali conclusioni raggiunte.

Scenari futuri per le Telecomunicazioni

L'industria delle reti

Il settore industriale delle reti di Telecomunicazioni rappresenta un mercato "peculiare". Sono infatti diversi i mercati dei beni e servizi che soddisfano le caratteristiche di ciò che comunemente definiamo "prodotti di rete". Questi mercati, piuttosto eterogenei tra loro, comprendono la telefonia, la posta elettronica, *Internet*, l'*hardware* e il *software* per i *computer*, tra cui ad esempio i lettori audio e i brani musicali stessi, i lettori video, i servizi bancari, quelli della pubblica amministrazione, quelli del trasporto aereo e altri ancora.

Le caratteristiche specifiche che distinguono questi mercati da altri sono:

- complementarità, compatibilità e *standard*;
- esternalità di consumo;
- costi di trasferimento e *lock-in*;
- economie di scala (significative) nella produzione.

Per favorire la comprensione del significato di questi termini, si riporta di seguito una breve descrizione di questi concetti.

Complementarità, compatibilità e standard

Il mercato delle reti per le Telecomunicazioni fornisce beni che devono essere consumati insieme ad altri prodotti (*hardware* e *software*). Nella letteratura economica, beni e servizi di questo tipo sono chiamati "complementi". Complementarità significa perciò che i consumatori, in questi mercati, acquistano *sistemi* (per esempio, *computer* e *software*, videocamere e *film*, lettori di musica e supporti), piuttosto che singoli prodotti.

Il fatto che i consumatori acquistino sistemi composti di elementi complementari consente alle imprese di sviluppare strategie particolari relativamente alla competizione con altre imprese [Besen 1994]. Viene infatti naturale chiedersi se un'impresa tragga ad esempio

beneficio dalla progettazione di macchine che possano inter-lavorare con quelle prodotte da aziende rivali.

E' inoltre assai importante, sul piano tecnico, chiedersi in che modo debbano essere prodotti i complementi. Infatti, affinché i prodotti siano effettivamente complementari, essi devono essere compatibili: ciò comporta che i prodotti complementari debbano operare secondo uno stesso *standard*. Questa circostanza crea a sua volta il problema di un coordinamento delle imprese per trovare un accordo sugli *standard*. E naturalmente, la necessità di questo coordinamento può dar luogo a problemi di tutela della concorrenza¹.

La complementarità, infine, è un elemento particolarmente critico proprio per i mercati dei beni relativi all'informazione, e al giorno d'oggi la complementarità di informazione sta assumendo sempre più importanza con l'incremento dell'uso di *Internet* a scopi pubblicitari e commerciali.

Esternalità

Col termine *esternalità di rete* o *effetto adozione* ci si riferisce a situazioni in cui il consumo dei beni dipende dal numero di individui che utilizzano prodotti simili o compatibili. Più precisamente, si parla di "effetto adozione" quando l'utilità ricavata dal consumo di determinati beni dipende dal numero di individui che fanno uso di prodotti simili o compatibili [Leibowitz 1994].

Il comportamento di mercato di un'impresa è fortemente influenzato dalla presenza di *standard* e/o di effetti adozione. Il successo di mercato conseguente all'adozione di un nuovo *standard* dipende infatti dal modo in cui i consumatori costruiscono le loro aspettative sulla dimensione della (futura) rete di utilizzatori.

La dipendenza dalle reciproche aspettative dei consumatori produce equilibri molteplici: in un certo equilibrio tutti i consumatori adottano la nuova tecnologia, mentre in un altro equilibrio nessuno lo fa. Entrambi i comportamenti sono "razionali" dal punto di vista dei consumatori, dato che riflettono la migliore risposta (*best response*) alle decisioni prese da tutti gli altri consumatori del mercato.

Fra l'altro, sono proprio queste considerazioni che sollevano una domanda fondamentale, ovvero quando ci attendiamo che una determinata tecnologia venga adottata. E un altro

¹ Con *antitrust*, ovvero "antimonopolio", si intende infatti 1. il complesso delle norme del Diritto della Concorrenza 2) per estensione, l'Organo o l'Autorità che vigila sul rispetto di tali norme (in Italia, l'AGCM, l'Autorità Garante della Concorrenza o del Mercato).

interrogativo correlato al precedente è quale dovrebbe essere, in presenza di esternalità, il numero minimo di utilizzatori (la cosiddetta "massa critica") necessario per spingere tutti i potenziali consumatori all'adozione della nuova tecnologia.

Costi di trasferimento e "lock-in"

I costi di trasferimento sono i costi che devono essere sostenuti da un consumatore che voglia passare a un servizio differente o intenda adottare una nuova tecnologia. E' un fatto assodato che i consumatori siano in genere piuttosto disturbati da questa tipologia di cambiamenti. In questi casi, peraltro, si dice che il consumatore è "bloccato" (*locked-in*) nel servizio o nella tecnologia.

Naturalmente, la condizione di *lock-in* non è assoluta. Il grado di *lock-in* si trova calcolando proprio i costi di trasferimento a un servizio differente o i costi di adozione di una nuova tecnologia, poichè sono proprio questi costi che determinano fino a che punto gli utenti sono "legati" a determinati servizi / tecnologie.

Vi sono tipi diversi di costi di trasferimento con differente impatto sul grado di *lock-in*. Una classificazione interessante è quella di [Shapiro 1999], riassunta brevemente qui di seguito:

1. *Contratti*: gli utenti possono essere bloccati in contratti relativi a servizi, fornitura di componenti, o acquisto di ricambi. I costi di trasferimento ammontano ai danni e alla compensazione che deve essere pagata da chi interrompe il contratto.
2. *Formazione e apprendimento*: è il caso di consumatori addestrati all'uso di prodotti che operano secondo un preciso *standard*. I costi di trasferimento includono l'apprendimento e la formazione degli utilizzatori, così come la perdita di produttività che deriva dall'adozione di un nuovo sistema.
3. *Conversione dati*: il *software* produce *file* salvati in specifici formati digitali. Se si introduce un nuovo *software*, è necessario un *software* di conversione dati per passare alla sua effettiva utilizzazione. I costi di trasferimento collegati, in questo caso, crescono col tempo, così come accade ai dati prodotti dal *software* nel corso del tempo.
4. *Costi di ricerca*: sono i costi di ricerca e acquisto di nuovi prodotti, che rappresentano anch'essi per gli utenti una valida ragione per evitare cambiamenti frequenti.
5. *Costi di fidelizzazione*: sono i costi in cui incorrono i consumatori che, cambiando tecnologia, perdono benefici quali i programmi preferiti del cliente, o le "miglia" dei *frequent flyer*, etc..

E' bene osservare che i costi di trasferimento impattano la competizione sul prezzo in due modi diversi. Nel caso di consumatori già bloccati su uno specifico prodotto, le imprese

possono aumentare il prezzo confidando sul fatto che il consumatore non procederà a un cambiamento finché la differenza di prezzo non superi il costo di trasferimento a un marchio concorrente. Se invece i consumatori non sono bloccati, vi sarà una intensa competizione tra imprese che offriranno sconti o prodotti/servizi complementari per attrarre i consumatori che verranno successivamente bloccati nella tecnologia.

In presenza di costi di trasferimento, una volta raggiunta la massa critica e quando le vendite diventano significative, si dice che il venditore ha realizzato una *installed base* di consumatori, rappresentata dagli utenti che si trovano bloccati nella soluzione tecnologica offerta dal venditore.

Economie di scala

Il *software*, o più in generale *le informazioni* in genere, hanno la speciale caratteristica che la produzione della "prima copia" comporta un elevato "costo sommerso" (è il costo di produzione che non può essere recuperato), mentre le copie successive possono essere prodotte a costi in genere poco ingenti o addirittura trascurabili [Economides 1996].

In termini economici, un costo fisso² sommerso elevato, associato a un costo marginale³ quasi trascurabile, implica che la funzione di costo medio diminuisca rapidamente al crescere del numero di unità di prodotto vendute al consumatore.

Ciò implica di per sé che un equilibrio competitivo non esista e che i mercati di questo tipo siano spesso caratterizzati da *leader* in posizione dominante che catturano la maggior parte del mercato.

² "Costi fissi" sono i costi che non variano proporzionalmente al crescere del volume di produzione (ad esempio, un canone di locazione, lo stipendio dei dipendenti, le assicurazioni, etc.).

³ "Costo marginale (unitario)" è il costo di una unità aggiuntiva prodotta, e corrisponde alla variazione dei costi totali di produzione che si verifica quando la quantità prodotta varia di un'unità. In altre parole, è la derivata del costo totale (C) rispetto alla quantità prodotta (q), cioè $C' = \frac{dC}{dq}$.

Sulla base dei concetti sopra esposti, risulta evidente uno dei problemi principali associati alla modellazione di questo tipo di mercati, vale a dire che non possono funzionare come mercati "competitivi", dove per competitivo si intende qui un mercato in cui esista un *price-taking behavior*, corrispondente alla situazione di concorrenza "perfetta", con tanti consumatori e tanti produttori che producono lo stesso bene (bene omogeneo), ove nessun singolo agente può influire sul prezzo, essendo quest'ultimo determinato dal mercato nel suo complesso, in una condizione di informazione perfetta e simmetrica.

Il settore delle Telecomunicazioni

Nello scenario di mercato corrente, caratterizzato da prospettive finanziarie incerte e rapido cambiamento, gli Operatori di Telecomunicazione sono di fronte a un bivio strategico.

Le sfide del presente riguardano ricavi e profitti in contrazione, e devono tenere conto di consolidamenti aziendali e interventi regolamentari sui prezzi.

Mai come oggi appare chiaro agli addetti del settore che il successo - o in taluni casi, la sopravvivenza - delle imprese di Telecomunicazione in Europa è legato a cambiamenti profondi del modello di *business* e del modello operativo [Newth 2012] [Ugolini 2010].

Resta tuttavia incerta la direzione futura del mercato. Quale che essa sia, gli Operatori di Telecomunicazione non possono più permettersi il ruolo di osservatori passivi dell'evoluzione che sta caratterizzando il resto del settore. Devono cioè scegliere una strategia chiara [Porter 1996], e decidere come affrontare il cambiamento - per evitare che siano altri a decidere il loro futuro.

Cambiamenti del modello di *business*

Nonostante le aspettative di crescita del traffico (tra il 2014 e il 2018 +60% annuo per il traffico mobile, e +20% annuo per il traffico fisso), gli Operatori di Telecomunicazione stentano a convertire questi dati di traffico in ricavi e profitti. Le previsioni per gli anni a venire, anche negli scenari più ottimistici, sono di ricavi stagnanti, se non addirittura in perdita (si veda la Figura 1).

La probabile conseguenza saranno, nei prossimi cinque anni, tagli ai costi operativi e commerciali, nonché agli investimenti (*CAPEX*):

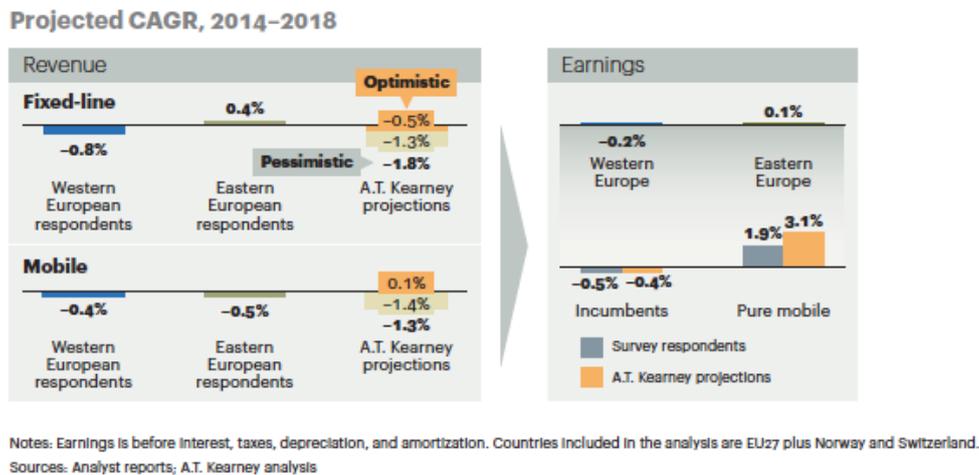


Figura 1 - Previsioni EBITDA Operatori di Telecomunicazione (Europa): traffico in crescita, ricavi stagnanti (Fonte: A.T. Kearney)

provvedimenti che saranno accompagnati anche da profondi cambiamenti nei modelli di *business*. A tal proposito, si può osservare che:

1) il progressivo abbandono dei tradizionali modelli di *business* è già in atto: infatti, le preferenze degli utenti sono a favore dei modelli introdotti dagli *OTT*, che includono modelli con *pricing* tipo *i-Tunes*, o anche modelli ibridi con pre- e post-pagato;

2) sembra delinearci una migrazione da modelli basati sul pre-pagato a modelli basati sul post-pagato. Relativamente a quest'ultimo, in particolare, ci si attende un consolidamento oppure addirittura una crescita in alcune aree d'Europa - mentre il pre-pagato è sempre più in contrazione. Sono perciò aumentate le aspettative su modelli ibridi, basati sull'uso di carte di credito e fatturazione in anticipo (*upfront billing*), oppure prezzi *flat*. Aspettative sostenute dalla domanda dei consumatori relativa al traffico dati, che cambierà il modo in cui saranno pagati i servizi di telecomunicazione, con una distinzione meno netta tra pre-pagato e post-pagato. In definitiva, il modello cui oggi si guarda è *i-Tunes*, in cui i clienti acquistano prodotti e/o servizi *ad hoc*;

3) gli obiettivi di *market share* sono diventati meno rilevanti. Le strategie di guadagno di quote di mercato a tutti i costi, molto popolari tra gli Operatori di Telecomunicazione alcuni anni fa, vengono oggi attentamente ripensate. Gli Operatori hanno compreso che accrescere la *market share* con strategie di *pricing* basate su taglio dei prezzi o su offerte allettanti può

essere molto costoso. Perciò, per i prossimi cinque anni gli Operatori di Telecomunicazione si attendono che venga attribuita una rinnovata priorità allo sviluppo di nuovi *business* (si veda la Figura 2), anche se è sempre opportuna una certa cautela, dal momento che questo obiettivo è stato identificato ormai da anni, e ad oggi si sono fatti passi avanti modesti, in relazione al suo conseguimento.

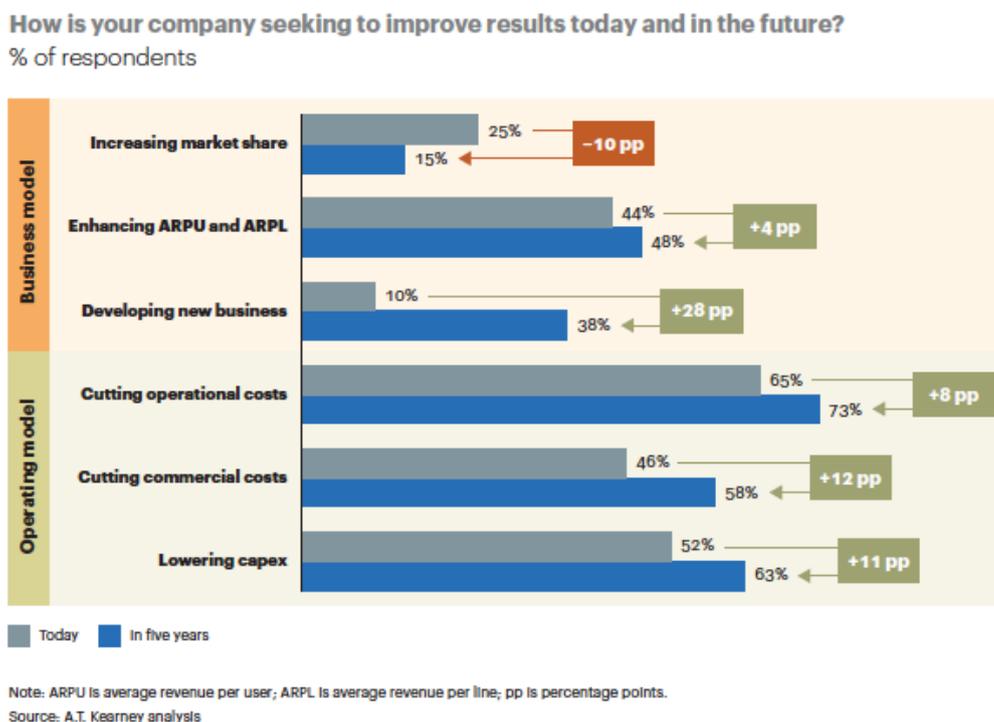


Figura 2 - Previsioni sviluppo Operatori di Telecomunicazione (Europa): nuovi *business*, meno *market share* (Fonte: A.T. Kearney)

4) i ricavi da traffico dati sono un sostituto solo parziale di quelli da traffico voce. Infatti, pur essendo i dati il *business* oggi più significativo per gli Operatori di Telecomunicazione, la sua capacità di compensare le perdite da traffico voce è tutt'altro che riconosciuta. Nonostante vi sia qualche Operatore "integrato" che ritenga di poter generare profitti mediante i diritti venduti attraverso la rete, molte imprese restano scettiche sulla possibilità di guadagni da servizi digitali proprietari. Una possibilità più realistica sembra essere quella delle alleanze con gli *OTT*, anche se non si possono nascondere le difficoltà di accrescere i ricavi da servizi digitali - telematica, *connected car*, pubblicità e *big data*, *home automation* [Neri 2013], sanità e pagamenti mobili. Il maggior potenziale di generazione ricavi sembra essere quello dei servizi *access-near* (voce, *texting*, chiamate video) o quello della vendita di connettività all'ingrosso (si veda la Figura 3), secondo le opinioni degli Operatori di Telecomunicazione.

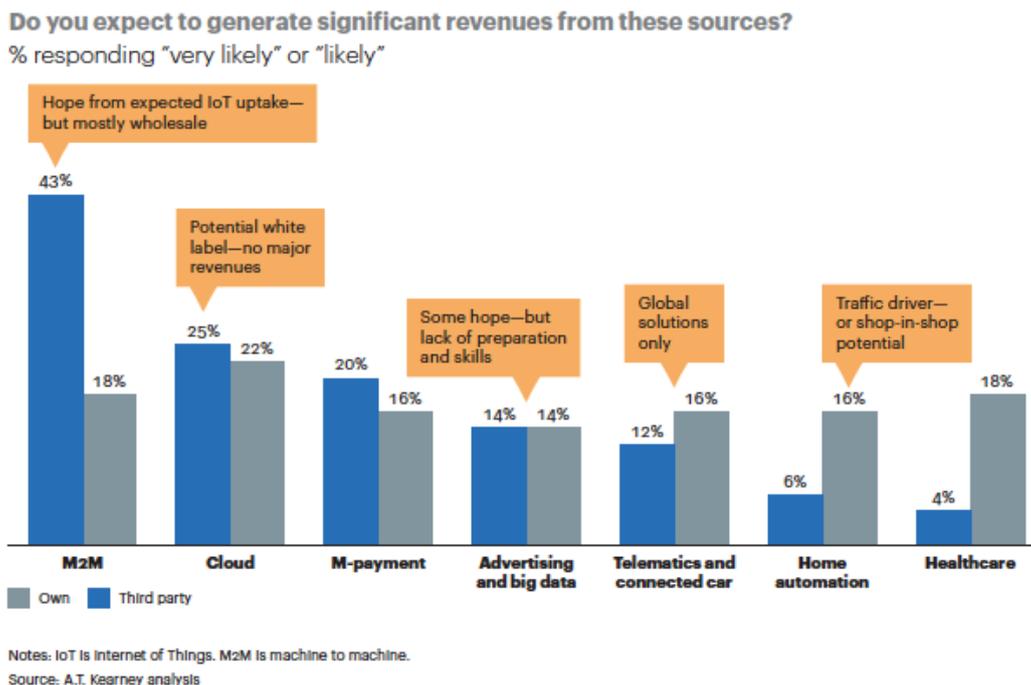


Figura 3- Per gli Operatori di Telecomunicazione (Europa), i servizi *access-near* sembrano promettenti per la crescita dei ricavi (Fonte: A.T. Kearney)

5) il settore si sta allontanando sempre più dal sovvenzionamento dei terminali - uno dei segni del progressivo abbandono dei modelli di *business* tradizionali. Pur conservando la sua importanza per il mantenimento della relazione cliente e del traffico, gli Operatori di Telecomunicazione si aspettano uno spostamento verso credito e *leasing*. La pratica del *lock-in* cliente con un contratto biennale sta diventando obsoleta, perchè gli utenti mantengono i loro dispositivi più a lungo, oppure li vogliono aggiornare appena le nuove versioni sono disponibili. In altre parole, i clienti desiderano flessibilità e si orientano sempre più verso gli operatori disposti ad offrirla⁴.

Ai cambiamenti sopra descritti nel modello di *business* si aggiungono però anche quelli nel modello operativo, come descritto nella sezione che segue.

Cambiamenti del modello operativo

Se la qualità della rete resta l'obiettivo preminente per gli Operatori di Telecomunicazione, il *marketing*, la gestione prodotto e le vendite stanno cambiando significativamente. Ciò non sorprende, perchè le aspettative sul marchio, sulle vendite e sul *customer service* evolveranno

⁴ Ovviamente, ci sono ancora in Europa mercati dove il sovvenzionamento non è stato praticato, come Russia e Ucraina, e probabilmente qui si potrebbe assistere in futuro a esperimenti di cauto sovvenzionamento in segmenti di mercato specifici - come quello degli *smartphone* a basso costo. Una ulteriore indicazione, questa, che i mercati europei si stanno sempre più avvicinando gli uni agli altri, per abitudini e caratteristiche.

in modo diverso, a seconda che gli Operatori di Telecomunicazione continuino a vendere accesso alla rete oppure sviluppino il *business* con nuovi servizi.

Una rappresentazione della possibile evoluzione futura di alcuni elementi chiave per l'operatività delle imprese di Telecomunicazioni è mostrata in Figura 4.

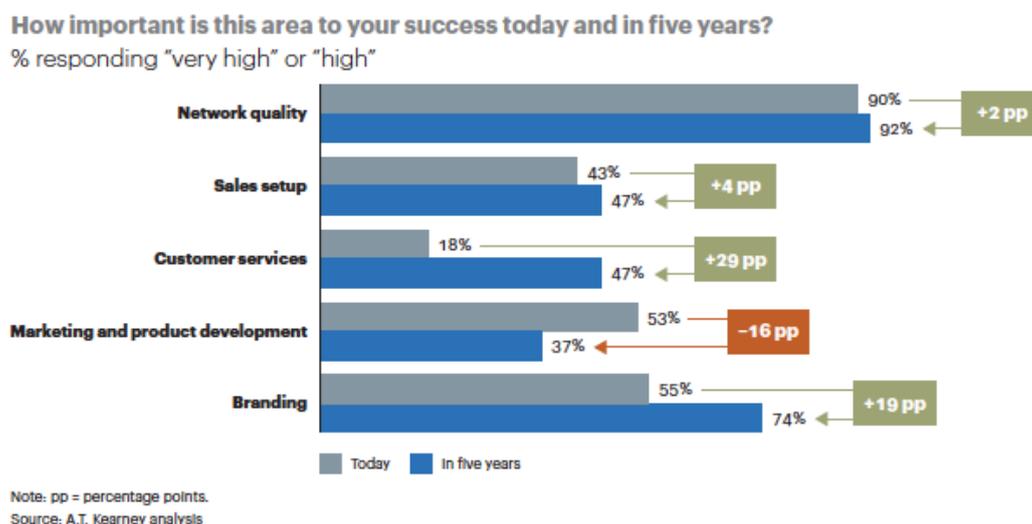


Figura 4 - La qualità della rete è la prima preoccupazione degli Operatori di Telecomunicazione (Europa) (Fonte: A.T. Kearney)

Per quanto riguarda la rete, resta critico il contenimento dei costi operativi, anche se il tema della qualità dell'infrastruttura diventa sempre più rilevante. In molti casi, ci si attende una ulteriore riduzione dei costi a fronte del passaggio alla rete *all-IP*.

Vi è inoltre un rinnovato interesse per modelli operativi che includano *sharing* e *outsourcing*, tant'è che in prospettiva si potrebbe assistere alla diffusione in Europa di centri di controllo della rete condivisi.

Minore sembra invece essere la propensione alla vendita di *asset* per successivi affitto o cessione in locazione. Il mantenimento di buoni livelli di spesa in conto capitale è considerato elemento critico di successo in una realtà di rete sempre più dominata dai dati.

Per quanto riguarda le vendite, insieme ai servizi sono considerate elemento chiave di differenziazione in un mercato difficile, dato che rappresentano un presupposto per la fidelizzazione dei clienti. Ci si devono però aspettare cambiamenti significativi nelle vendite al dettaglio, con una riduzione del peso delle operazioni *storefront*, nello sforzo delle imprese di "coprire" molti canali di vendita in realtà multicanale. E' probabile che i punti vendita "in eccesso" diventeranno vetrine per i servizi o addirittura centri di servizio. Il *big loser* in questo scenario potrebbe essere il canale di vendita indiretto - anche se va considerato che i

punti vendita dei costruttori di terminali potrebbero restare "una minaccia" non trascurabile per gli Operatori di Telecomunicazione. Un caso esemplare per nuovi modelli di vendita *online* è l'operatore mobile britannico "giffgaff" (di proprietà di O2), privo di punti vendita (si compra solo sul sito o su *Facebook*), con costi minimi di *marketing* (si fonda sul "passaparola" o sulla promozione affidata alla *community*), con vendite basate su metodi *peer-to-peer* e acquisti di terminali basati su finanziamenti *peer-to-peer*.

Relativamente ai servizi, l'orientamento prevalente sembra essere l'abbandono dell'approccio tradizionale basato sul costo della chiamata, a favore di una maggiore considerazione del tasso di risoluzione dei problemi utente alla prima chiamata (*first call resolution rate*), il cui impatto sul costo del servizio ai clienti è cresciuto nel tempo. In questo ambito, poi, vi sono concrete aspettative di un aumento del peso dei servizi basati su interazioni complesse (video, *online chat*, appuntamenti allo *store*) - in pratica, ci si attende una migrazione verso interazioni *online* più standardizzate, che avranno luogo utilizzando l'accesso da rete fissa o applicazioni specificamente realizzate per *smartphone*. Si delinea insomma per gli Operatori di Telecomunicazione una convergenza verso le modalità di *setup* operativo degli attuali clienti degli *OTT*: *call center* e *shop* tenderebbero a scomparire, e il *customer service* tradizionale dovrebbe essere sostituito da processi totalmente digitalizzati e senza errori (*flawless processes*).

Nel *marketing*, l'impegno tendenziale sulle azioni di sviluppo prodotto, *pricing* e *branding* dovrebbe rimanere stabile. Anche lo sviluppo di servizi digitali proprietari dovrebbe restare sui livelli correnti. Maggiori aspettative si concentrano sulle semplificazioni radicali, che dovrebbero comportare riduzioni di *staff*. La semplificazione e la digitalizzazione dei processi costituiscono un tema assai importante, e rappresentano un prerequisito per la digitalizzazione delle interfacce cliente e dei processi interni. In questo caso, il *driver* critico non è la pressione sui costi, quanto piuttosto l'aspettativa dei clienti.

Nel *marketing* sono però attesi anche due altri cambiamenti: una maggiore enfasi sulla *data analytics* per migliorare la comprensione delle esigenze utente e un incremento delle alleanze con i *player* di servizi digitali - i cui effetti potrebbero non ricadere sugli attuali dipartimenti *marketing* ma piuttosto esprimersi attraverso nuove strutture come *joint venture* o partenariati "deboli" (*loose partnerships*). La reputazione degli Operatori di Telecomunicazione come marchi attendibili e affidabili in un mondo a rapido cambiamento diventerà cruciale nelle esperienze di vendita e servizio. Si arresterà altresì la proliferazione dei marchi - un operatore non avrà in definitiva più di tre o quattro marchi.

In estrema sintesi, tutti i cambiamenti tendenziali descritti avranno impatti significativi, e saranno dovuti più alle aspettative dei clienti, che a effetti dovuti alla trasformazione dell'operatività.

La direzione futura del mercato

Qual è il vero significato dei cambiamenti descritti precedentemente, in relazione al futuro del settore delle Telecomunicazioni? Quale sarà il ruolo degli Operatori di Telecomunicazione nella catena del valore del settore?

Due sono le scuole di pensiero: gli Operatori saranno confinati al ruolo di vendita di prodotti per l'accesso, oppure riusciranno ad aumentare i ricavi da servizi a valore aggiunto [Talluri 2004].

Sulla base di un'analisi dei dati di settore correnti e di possibili sviluppi nella Regolamentazione, è possibile immaginare quattro differenti scenari relativi agli sviluppi del mercato, ciascuno dei quali con differenti implicazioni sui profitti (si veda la Figura 5)

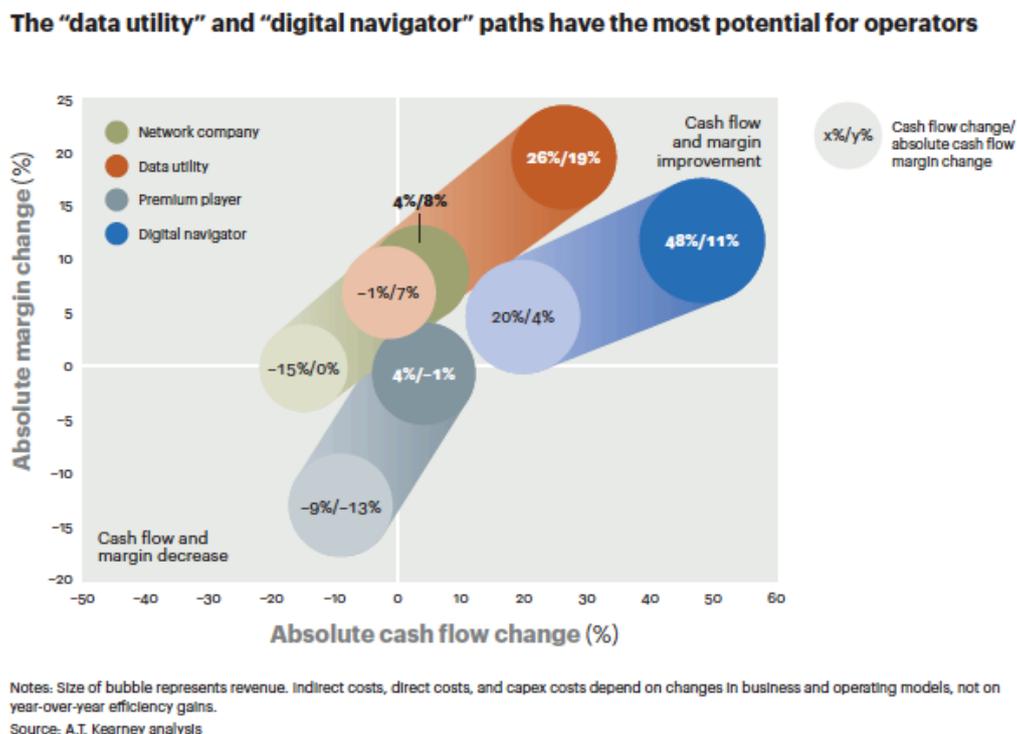


Figura 5 - Percorsi a maggior potenziale per gli Operatori di Telecomunicazione (Europa) (Fonte: A.T. Kearney)

Scenario 1: Aziende di rete

In questo scenario, gli Operatori di Telecomunicazione, come fornitori di accesso "all'ingrosso", non controllerebbero più l'interfacciamento coi clienti (ragion per cui spesso ci

si riferisce a questo scenario col termine *bit-pipe*). In termini di ricavi e margini questo scenario porterebbe, nella peggiore delle ipotesi, una drammatica riduzione dei flussi di cassa, mentre nel caso migliore darebbe luogo a bassi livelli di liquidità e margini minimi.

Oggi si ritiene questo scenario un risultato a bassa probabilità, anche se non si può escluderlo del tutto. Del resto, ci sono già alcune situazioni che lo richiamano. La tecnologia *soft SIM*, che permette all'utente di cambiare operatore, il *messaging* e le chiamate che i giovani effettuano via *Whatsapp* o *Facebook*, o lo stesso *Kindle* della Amazon, con connettività integrata, sono associati a comportamenti del consumatore che sembrano voler anticipare questo scenario.

Non è perciò retorico domandarsi se in futuro gli operatori potrebbero essere del tutto rimpiazzati, specie se aziende come *Samsung*, *Microsoft* o *Apple* decidessero di entrare nella vendita diretta di servizi con modelli di vendita multicanale.

Scenario 2: *Data Utilities*

Questo scenario, in cui gli Operatori di Telecomunicazione sarebbero fornitori d'accesso "all'ingrosso" e "al dettaglio", si potrebbe avverare qualora non si realizzasse lo scenario *soft SIM*, oppure se altri servizi all'ingrosso su scala internazionale non dovessero conquistare quote di mercato sufficienti. Gli utenti al dettaglio acquisterebbero l'accesso ai servizi dagli Operatori di Telecomunicazione (accesso dati, essenzialmente), e utilizzerebbero altri servizi e *hardware* forniti dai costruttori e dagli *OTT* (si pensi ad esempio a chiamate con *Facebook* e videochiamate con *Facetime*).

In questo scenario, nel caso peggiore si avrebbero ricavi in calo e crescita dei margini debole, nella situazione migliore gli Operatori di Telecomunicazione potrebbero invece raggiungere una buona profittabilità, a fronte di una spesa operativa e in conto capitale inferiori, con ricavi in aumento per la crescita della domanda. E naturalmente, ci sarebbero trasformazioni profonde nelle vendite, nel servizio e nel *marketing*.

Per attualizzare questo scenario, da un punto di vista quantitativo, si immagina per gli operatori la necessità, nei prossimi cinque anni, di una riduzione dei costi di circa il 30%, oltre a un guadagno di efficienza dell'ordine del 20% circa.

Scenario 3: *Premium Players*

In questo scenario gli Operatori di Telecomunicazione, fornitori di servizi per l'accesso e *near-access* (ad esempio, *cloud services*, *mobile to mobile offerings*, *payment services*), potrebbero intercettare clienti che vogliono e possono pagare prezzi *premium* per una esperienza d'uso superiore, avendo come obiettivo una connettività integrata e senza soluzione di continuità (*seamless access*).

Per realizzarlo, sarebbe però necessario l'aumento delle spese in conto capitale nella rete fino a un livello pari a circa il 5% dei ricavi. Il risultato non sarebbe molto conveniente, perché nel caso peggiore si avrebbero grosse perdite per i costi dell'investimento, nel caso migliore crescita zero. Ci sarebbero significativi cambiamenti anche nel modello di *business* e in quello operativo. In un certo senso, si avrebbero cambiamenti simili a quelli dello Scenario 2 - con motivazioni differenti dal taglio dei costi, da ricercare in questo caso nello sforzo di soddisfare le attese dei clienti su metodi di pagamento automatizzati e interazioni semplificate con i *call center*.

Facendo un confronto con le strategie correnti, con cui gli operatori cercano di fornire servizi a largo spettro di valore, sarebbe necessaria una maggiore focalizzazione su proposizioni ad alto valore aggiunto e su una presenza di marchio forte e consistente - in altri termini, un più forte posizionamento complessivo.

Scenario 4: Navigatori digitali

In quest'ultimo scenario gli Operatori di Telecomunicazione, con il ruolo di fornitori d'accesso *leader* nel settore digitale, potrebbero trarre vantaggio dell'ampio spettro di opportunità correnti, capitalizzando la fiducia che hanno generato proprio come operatori di rete, per offrire più servizi e pacchetti (*bundle*) ai loro clienti. Costoro sanno bene infatti che gli Operatori di Telecomunicazione sono imprese destinate a perdurare a causa degli ingenti investimenti erogati in conto capitale, e gli *OTT* non possono certamente offrire livelli di sicurezza analoghi. L'"effetto Snowden"⁵, infatti, ha contribuito ad abbattere la fiducia di molti clienti europei nelle imprese *hi-tech* internazionali, relativamente alla sicurezza dei dati, trasformando gli Operatori di Telecomunicazione nel marchio di fiducia su molti mercati.

Ciò potrebbe portare a uno scenario assai profittevole per gli operatori, generando incrementi nei ricavi anche del 50% entro il 2020, e garantendo profitti significativi anche nella visione meno ottimistica. La riduzione della complessità nelle tariffe voce (e conseguentemente nel *marketing*, nelle vendite e nei servizi cliente) potrebbe determinare una rifocalizzazione degli operatori sull'analisi del comportamento e dei requisiti cliente, permettendo di rinnovare l'offerta di servizi d'accesso e di contenuti.

Una ipotesi che sta diventando verosimile in quest'ambito è quella di un modello tariffario tipo *i-Tunes*, in cui la sostituzione progressiva dei piani di consumo mensili con servizi *ad-hoc*

⁵ Da intendere come la notorietà diretta o indiretta derivante dagli eventi e dalla relativa copertura mediatica che hanno fatto seguito alle rivelazioni di informazioni riservate su programmi di *intelligence* dei governi di Stati Uniti e Gran Bretagna, fatte dall'ex-dipendente della *CIA* Edward Snowden. Nel termine sono da includere anche le conseguenze politiche, economiche, etc., originate dalle rilevazioni fatte alla pubblica opinione.

potrebbe condurre ad un significativo aumento dei ricavi. Naturalmente, sarebbe necessario un completo ripensamento delle vendite e dei servizi, una riduzione drastica della rete di distribuzione, ridisegnata con una forte integrazione tra *offline* e *online*, e una vasta offerta di *gadget* e servizi concepiti per favorire una esperienza di rete superiore.

In questo scenario il posizionamento risultante degli Operatori di Telecomunicazione sarebbe più forte, rispetto agli altri attori, cioè gli *OTT*, gli *OEM* e i rivenditori indiretti, tutti fra loro in competizione per assicurarsi porzioni significative del totale dei profitti.

Il quadro che emerge dagli scenari descritti è quello di un settore alla vigilia di grandi cambiamenti. Per gli Operatori di Telecomunicazione, è il momento di assumere l'iniziativa strategica che consenta loro di essere attori, e non spettatori, del cambiamento che è dinanzi.

Vi sono già alcune storie di successo, dovute a ottimizzazione della rete oppure a *outsourcing*, a *focus* sull'esperienza utente o sui servizi digitali, o infine a cambiamenti nell'operatività.

La situazione generale, però, è ancora dominata dall'incertezza, con operatori che scommettono su due modelli simultaneamente - *data utility*, *premium player* - e pochi attori che aspirino a essere *navigatori digitali* puri, il ruolo che dovrebbe assicurare i maggiori ritorni. Gran parte delle imprese di settore resta infatti ancora concentrata sull'operatività e sul taglio costi: sono poche le imprese impegnate ad esempio a migliorare i modelli di *business*.

Eppure già il contesto attuale sembra richiedere un profondo ripensamento del ruolo dell'Operatore di Telecomunicazioni a fronte di *OTT*, impatto della Regolamentazione e cambiamento dei clienti. Scommettere su più modelli può mitigare parzialmente esiti finanziari negativi, ma anche allontanare dal percorso in grado di assicurare il migliore risultato.

Le mosse da anticipare per evitare di diventare meri fornitori di accesso risultano ormai piuttosto chiare: *focus* sui costi, più iniziativa per la digitalizzazione, semplificazione dei prodotti e dei processi *IT*, migliore gestione delle capacità e un'appropriata strategia per le risorse umane.

Lo scenario strategico che gli Operatori di Telecomunicazione vogliono realizzare andrebbe definito *ora*, per allineare organizzazione e risorse in modo da assicurare che l'obiettivo strategico individuato sia raggiunto.

Aspetti rilevanti dell'Economia delle reti

L'Economia studia la produzione, la vendita e l'acquisto di beni (merci) disponibili in quantità limitata, nonché le interazioni di acquirenti e venditori sui mercati [Krugman 2006].

L'Economia delle reti e dei servizi di telecomunicazione è uno dei campi d'indagine a più rapido sviluppo nell'ambito degli studi sull'organizzazione industriale.

Il settore delle reti, come ricordato nella descrizione degli scenari futuri per le Telecomunicazioni, comprende *Internet*, servizi come la posta elettronica, la telefonia, l'*hardware* e il *software* per i *computer*, e molti importanti servizi per l'operatività di settori quali finanza, pubblica amministrazione, e trasporto aereo - solo per citare alcuni di essi.

Lo studio dell'Economia delle reti è rilevante perché si applica a settori industriali con forte impatto sulla vita degli individui. Esso permette anche di comprendere come le attività di rete influenzino le interazioni strategiche tra imprese, o quali siano gli effetti della *social interaction* sulle scelte di prodotti e servizi da parte dei consumatori [Afrasiabi 2011]. Inoltre, la sua importanza è destinata a crescere nel contesto economico corrente.

Per comprendere meglio i risultati di questo lavoro di Tesi, è opportuno riassumere brevemente alcuni aspetti essenziali che sono rilevanti per l'Economia delle reti e che sono relativi, in particolare, all'addebito dei servizi e alla modellizzazione del "problema del consumatore" [Krugman 2005] [Falkner 2000].

Domanda, offerta e meccanismi di mercato

I servizi per le comunicazioni sono beni economici "pregiati". I prezzi a cui sono venduti dipendono da fattori quali domanda, offerta e modalità con cui opera il mercato.

Gli attori chiave nel mercato delle Telecomunicazioni (indicati nel seguito anche come *agenti*) sono i Fornitori di connettività, i Fornitori di contenuti/applicazioni, i Consumatori e le Autorità di Regolamentazione.

La domanda di uno specifico servizio dipende dal valore ad esso attribuito dagli utenti e dal prezzo che sono disposti a pagare per ottenerlo.

La quantità di un servizio fornita al mercato dipende da quanto i fornitori si aspettano di poter addebitare per quel servizio e dai costi sostenuti per la sua produzione. Questi ultimi, naturalmente, dipendono dall'efficienza delle loro operazioni di rete.

La natura della competizione tra fornitori, come essi interagiscano coi clienti, e come il mercato sia regolamentato, sono tutti fattori che influenzano il *pricing* dei servizi di rete e, naturalmente, i profitti dei fornitori [Boussin 2012] [Cricelli 2011] [DaSilva 2000].

Un altro fattore di mercato molto importante è la competizione, che tende ad accrescere l'efficienza economica, vale a dire il valore aggregato dei servizi prodotti e consumati [Bakos 1999]. Talvolta la competizione non ha un'origine "spontanea": in questo caso, è la regolamentazione da parte di una Autorità governativa che può accrescere l'efficienza economica. Attraverso la regolamentazione sulle tipologie delle tariffe, o sulla frequenza con cui tali prezzi possono essere cambiati, il Regolatore può favorire un *welfare*⁶ aggregato maggiore di quello che si avrebbe se a un fornitore in posizione dominante fosse permesso di erogare servizi e addebitarli agli utenti senza alcun controllo esterno. Inoltre, il regolatore può tenere in considerazione aspetti del *welfare* che fornitori o utenti possono ignorare (servizio universale, intercettazioni, etc.), favorendo una "visione a lungo termine" oppure adottando provvedimenti che spingono il mercato in una certa direzione.

Questi aspetti saranno analizzati con maggiore dettaglio nel proseguimento di questo lavoro di Tesi utilizzando appositi strumenti analitici.

Il contesto della determinazione dei prezzi (*pricing*)

Nel contesto cui si fa riferimento, i termini "addebito" (*charge*), "tariffa" (*tariff*) e "prezzo" (*price*) hanno un significato specifico [Courcoubetis 2003].

Si dice infatti che un cliente paga per l'*addebito* dei servizi di rete, e che tale addebito è calcolato dal fornitore sulla base di una *tariffa* [Songhurst 1999].

La tariffa può essere una funzione anche molto complicata, che tiene conto di diversi aspetti del servizio ed eventualmente di qualche misura dell'uso che ne fa il cliente.

Un *prezzo* è un addebito associato con una singola unità d'uso. Un operatore mobile, ad esempio, potrebbe applicare una *tariffa a due componenti* del tipo $a + bx$, dove a è un

⁶ Il *welfare* (o meglio, il *social welfare*) è definito come la somma del beneficio netto di tutti gli agenti, ovvero la somma del *surplus* di tutti gli utenti e di tutti i fornitori inclusi in un sistema economico. Per la definizione di *surplus* si veda la sezione finale di questo capitolo. Per l'utilizzo e il significato della importante variabile economica denominata *welfare* si vedano gli sviluppi nei capitoli 3, 4 e 5 di questa Tesi.

addebito fisso mensile (addebito per l'accesso), x il numero di minuti di chiamata al mese, e b il prezzo al minuto.

Per una generica tariffa $r(x)$, dove x è la quantità di servizio consumata, rappresentata eventualmente da un vettore, il prezzo può dipendere dalla quantità x stessa. Se la quantità consumata è x , il prezzo di una ulteriore unità di consumo è $p = \partial r(x)/\partial x$, e p viene definito come *incremento marginale del prezzo*.

Se $r(x) = p^T x = \sum_j p_j x_j$, per un certo vettore dei prezzi $p = (p_1, \dots, p_k)$, e per un vettore delle quantità acquistate dei servizi $x = (x_1, \dots, x_k)$, allora $r(x)$ è una *tariffa lineare*. Tutte le altre tariffe sono *tariffe non lineari*⁷. Ad esempio, nel gergo economico, la presenza di una costante additiva nella tariffa del tipo $a + bx$ porta a dire che questa è una tariffa (prezzo) non lineare, mentre un'altra tariffa, del tipo bx , è una tariffa (prezzo) lineare.

E' da tener presente che non è semplice neppure definire il *costo* di un bene materiale o immateriale. Si prenda ad esempio il caso di un apparecchio telefonico. Si potrebbe intendere il "costo storico" - il costo dell'apparecchio quando è stato acquistato - o il "costo opportunità" - il valore di ciò a cui si rinuncia per produrlo - oppure infine il "costo dell'asset equivalente" - il costo di sostituzione con un apparecchio che ha le stesse caratteristiche di quello sostituito.

Massimizzazione del beneficio netto del consumatore (surplus)

La discussione presentata in questa sezione cerca di stabilire quali siano le proprietà generali che deve possedere la *funzione di domanda*, la cui conoscenza è assolutamente necessaria per effettuare qualunque tipo di analisi di mercato, comprese quelle che saranno svolte nel presente lavoro di Tesi.

Si consideri un mercato in cui n clienti possono acquistare k servizi. L'insieme dei clienti sia identificato con $N = \{1, \dots, n\}$. Il cliente i può acquistare la quantità di servizi descritta dal vettore $x = (x_1, \dots, x_k)$ a fronte del pagamento del prezzo $p(x)$.

Supponiamo che $p(x) = p^T x = \sum_j p_j x_j$ per un dato vettore dei prezzi $p = (p_1, \dots, p_k)$. Immaginiamo anche che le quantità sul mercato dei k servizi siano illimitate e che il cliente i cerchi di risolvere il problema

$$x^i(p) = \arg \max_x [u_i(x) - p^T(x)]$$

⁷ Nella letteratura economica, si usa comunemente il termine *prezzo lineare* (o *prezzo uniforme*) al posto di tariffa lineare, e *prezzo non lineare* invece di tariffa non lineare. In questo caso, il prezzo si riferisce implicitamente al prezzo totale pagato per una certa quantità di un servizio, cioè all'addebito totale.

In questa formula $u_i(x)$ rappresenta l'*utilità* per il cliente i derivante dal possesso delle quantità dei servizi identificate dal vettore x .

Si può assumere che $u_i(x)$ sia la quantità di denaro che il cliente è disposto a pagare per acquistare il pacchetto (*bundle*) costituito dai servizi nelle quantità x_1, \dots, x_k .

Si assume generalmente che $u_i(\cdot)$ sia strettamente crescente e strettamente concava per tutti gli i . In questo modo il massimo che rappresenta la soluzione del problema appena descritto è unico e la domanda di servizi decresce col prezzo.

Se inoltre $u_i(\cdot)$ è differenziabile, allora l'utilità marginale del servizio j , che è data da $\partial u_i(x)/\partial x_j$, è funzione decrescente di x_j .

Le assunzioni fatte fino ad ora sono del tutto generali, anche se si deve osservare che esistono casi in cui l'ipotesi sulla concavità non è verificata.

L'espressione che è massimizzata a secondo membro della formula scritta all'inizio di questa sezione è detta *beneficio netto* o *surplus del consumatore*,

$$CS_i = \max_x [u_i(x) - p^T x]$$

Esso identifica il valore netto che il consumatore ottiene, rappresentato dall'utilità derivante dal possesso di x diminuita dell'importo pagato per x .

Le relazioni fra le variabili descritte sono rappresentate nella Figura 6 seguente.

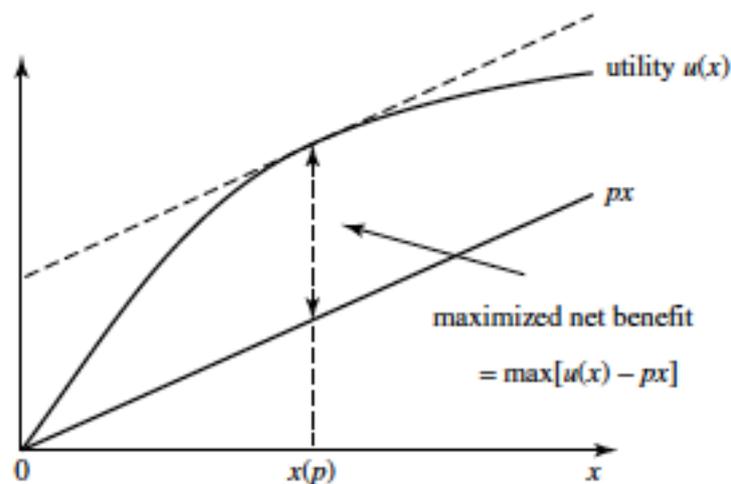


Figura 6 - Il consumatore ha una utilità $u(x)$ derivante dalla quantità x di un certo servizio. Nella figura, $u(x)$ è crescente e concava. Dato il vettore dei prezzi p , il consumatore sceglie di acquistare la quantità $x = x(p)$ che massimizza il suo beneficio netto (il *surplus* del consumatore). Da notare che per $x = x(p)$ si ha $\partial u(x)/\partial x = p$. (Fonte: Courcoubetis et al. 2003)

Il vettore $x^i(p)$ prende il nome di *funzione di domanda* per il cliente i . Fornisce le quantità $x^i = (x_1^i, \dots, x_k^i)$ dei servizi acquistati dal cliente i se il vettore prezzi è p .

La *funzione di domanda aggregata*, $x(p)$, è invece data da

$$x(p) = \sum_{i \in N} x^i(p)$$

e rappresenta la domanda *totale* di tutti gli utenti in corrispondenza dei prezzi p praticati.

Naturalmente, la *funzione di domanda aggregata inversa*, $p(x)$, è il vettore dei prezzi a cui corrisponde una domanda totale pari a x .

E' interessante considerare il caso di un singolo utente che stia scegliendo la quantità da acquistare di un singolo servizio, diciamo il servizio j . A titolo esemplificativo si può immaginare che le quantità di tutti gli altri servizi siano mantenute costanti e fornite al cliente senza addebito.

Se la sua funzione di utilità $u_i(\cdot)$ è concava e due volte differenziabile in x_j allora il suo beneficio netto $u(x) - p_j x_j$ è massimizzato in corrispondenza di un punto stazionario rispetto a x_j , ossia quando $\partial u(x) / \partial x_j = p_j$.

In questo punto, l'incremento marginale nell'utilità dovuto all'incremento di x_j è uguale al prezzo del servizio j .

Si può notare anche che la *funzione di domanda inversa* del cliente è semplicemente $p_j(x_j) = \partial u(x) / \partial x_j = p_j$. E' il prezzo a cui il cliente acquisterà una quantità del servizio pari a x_j .

Perciò, per un singolo cliente che acquista un singolo servizio j , possiamo esprimere il *surplus* del consumatore al prezzo p_j come

$$CS(p_j) = \int_0^{x_j(p_j)} p_j(x) dx - p_j x_j(p_j)$$

Una rappresentazione di questo *surplus* è riportata nella Figura 7 seguente (ove per semplicità è stato omissso il suffisso j).

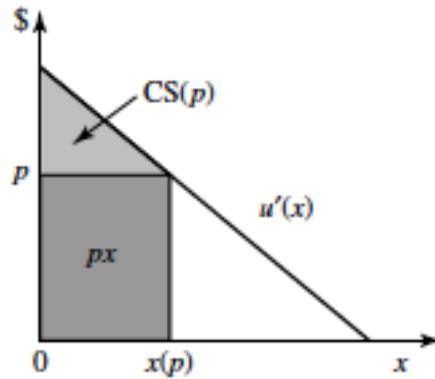


Figura 7 - Curva della domanda relativa al caso singolo cliente, singolo servizio. La derivata di $u(x)$, rappresentata da $u'(x)$, ha pendenza negativa, e per semplicità in figura è disegnata come una linea retta. L'area sotto $u'(x)$ tra 0 e $x(p)$ è $u(x(p))$, e sottraendo ad essa px (ovvero l'area del rettangolo ombreggiato) si ottiene il *surplus* del consumatore, corrispondente all'area del triangolo ombreggiato. (Fonte: Courcoubetis et al. 2003)

E' bene fare un'ulteriore osservazione sulla formula che riassume il problema del consumatore.

Si è fatta un'assunzione implicita che i prezzi unitari addebitati sul mercato siano gli stessi per tutte le unità di servizio acquistate dal cliente. Vi sono infatti meccanismi di prezzo più generali in cui l'importo pagato dal cliente per acquistare una quantità x è una funzione $r(x)$ più generale - ovvero, una funzione con forma diversa da $p^T x$. Ad esempio, i prezzi possono dipendere dalla quantità totale acquistata dal cliente, come parte di tariffe non lineari. Inoltre, ci si può chiedere quanto generale sia la formula che esprime il beneficio netto del cliente come differenza tra utilità e pagamento. In effetti, una versione più generale di questo beneficio è la seguente.

Supponiamo che un cliente abbia una funzione d'utilità $v(x_0, x)$, dove x_0 è il suo reddito netto in unità monetarie, e x è il vettore dei beni che consuma.

Perciò al prezzo p l'utente dovrà risolvere il problema

$$x^i(p) = \arg \left\{ \max_x v(x_0 - p^T x) : p^T x \leq x_0 \right\}$$

Nel caso semplice in cui il cliente abbia una *funzione di utilità "quasi lineare"*, cioè della forma $v(x_0, x) = x_0 + u(x)$, assumendo che il suo reddito sia abbastanza grande in modo che risulti $x_0 - p^T x > 0$ nella condizione d'acquisto preferita, il cliente dovrà risolvere un problema del tutto equivalente a quello espresso dalla formula per $x^i(p)$ riportata all'inizio di questa sezione.

E' corretto assumere una funzione d'utilità quasi lineare quando la domanda di servizi del cliente non è molto sensibile al suo reddito, ovvero quando la spesa per i servizi è una piccola parte del suo reddito totale - *e questo è proprio il caso della maggior parte dei servizi di comunicazione.*

Nella modellazione di aspetti economici, queste assunzioni sulla funzione di utilità sono utilizzate ampiamente perchè sono ragionevoli e semplificano significativamente le formule matematiche senza ridurre l'applicabilità qualitativa dei risultati.

Modelli per l'Economia delle reti

Stato della ricerca

Il contesto del problema analizzato in questo lavoro di Tesi si inquadra nell'ambito della competizione tra fornitori di servizi digitali, intendendo in essi inclusi anche gli Operatori di Telecomunicazione, che cercano di attrarre sempre più clienti con il loro portafoglio d'offerta, in modo da espandere i volumi di vendita e conseguire ricavi d'impresa sempre maggiori [Franz 2012] [Chesbrough 2011].

Uno degli elementi più importanti del problema sono le decisioni d'acquisto degli utenti, relative ai servizi offerti dai diversi tipi di fornitori. Questo tema ha ben presto suscitato interesse in ambito scientifico, e nel tempo sono stati sviluppati diversi modelli per rappresentare le decisioni prese dagli utenti e per studiarne l'impatto sull'ecosistema considerato.

In questa sezione viene presentata una breve rassegna di alcune delle rappresentazioni matematiche usate più comunemente per descrivere i modelli di comportamento degli utenti, facendo riferimento per semplicità ad una tipologia di servizi, e precisamente ai servizi di connettività.

Una prima possibilità cui si è fatto ricorso per modellare le decisioni degli utenti è stata quella dei *modelli di associazione* basati sulle *funzioni di utilità*, in cui gli utenti sono considerati come agenti *self-interested* che cercano di massimizzare la loro utilità. Più precisamente, fissate le strategie di *pricing* dei fornitori, ciascun utente ricava una certa utilità dalla scelta di un determinato fornitore, ed è ragionevole attendersi che selezioni quello dal quale ricavi la massima utilità.

Questo approccio è stato seguito per modellare situazioni note come *guerra dei prezzi* (*price-war situation*), ovvero scenari in cui, in assenza di fenomeni di congestione riguardanti la rete, due fornitori competono per conquistare clienti, offrendo servizi della medesima qualità. Lo scenario di competizione basato sui prezzi, con gli utenti che scelgono il fornitore più conveniente, è noto in letteratura come *Bertrand competition*: i prezzi praticati dai fornitori

diminuiscono sino al punto in cui il prezzo raggiunge il costo marginale per uno dei fornitori, che pertanto è costretto a uscire dal mercato.

Quando le funzioni di utilità dipendono dal fornitore scelto dagli altri utenti, e ciò accade ad esempio *in presenza di eventuali effetti di congestione del traffico*, lo studio della situazione si può effettuare ricorrendo alla Teoria dei Giochi, e in particolare agli *equilibri Wardrop*⁸, analizzando la competizione tra fornitori attraverso il modello di un gioco in cui gli attori sono rappresentati dagli utenti.

Un esempio di analisi rigorosa eseguita applicando questo approccio è descritta in [Maillé 2011]. Tipicamente, la soluzione ricercata mediante analisi di questo tipo è quella in cui, assunti gli utenti "infinitesimali", così che la decisione di un singolo utente *non* abbia impatto su quelle prese dagli altri utenti, risulti soddisfatto il "principio di Wardrop", secondo il quale un utente può entrare nel sistema (eventualmente in una specifica classe di allocazione) non appena la sua funzione di utilità assuma un valore positivo, e ovviamente ne esce, qualora risulti negativa. Esempi particolarmente interessanti di modelli di competizione basati su un comportamento degli utenti "alla Wardrop" si possono trovare in [Acemoglu 2009] e in [Johari 2010].

Nel *modello Wardrop* appena descritto, tutti gli utenti hanno la stessa percezione comparativa delle alternative, che, nei casi specifici descritti, sono i fornitori dei servizi che l'utente deve scegliere. Pertanto, si possono avere "effetti soglia", come quando tutta la domanda passa da un fornitore all'altro in conseguenza di una riduzione anche minima dei prezzi, oppure situazioni da guerra dei prezzi. Dato che in realtà questi fenomeni non sono poi così comuni, si è cercato di migliorare i modelli introducendo più "continuità" nel comportamento aggregato degli utenti. Si sono quindi aggiunte componenti *aleatorie* alle funzioni di utilità, assumendo che il comportamento degli utenti non sia lo stesso per tutti, e tenendo in considerazione aspetti soggettivi, come la percezione complessiva della qualità del servizio, che si stabilisce ad esempio attraverso la reputazione del fornitore, o la fedeltà al *brand*, su cui ha impatto la pubblicità. E' stato perciò sviluppato l'approccio tipico dei cosiddetti *modelli a scelta discreta*, frequentemente utilizzati nell'econometria, come descritto in [Ben-Akiva 1985].

⁸ Gli "equilibri Wardrop" si possono immaginare come "equilibri Nash" (si veda la nota successiva nel capitolo) per giochi "non-atomici", ovvero giochi in cui si assume che non vi siano giocatori "atomici", cioè giocatori che abbiano impatto sulle funzioni di utilità degli altri giocatori, attraverso le loro specifiche azioni.

Un esempio di applicazione di questo tipo di modello al caso di due fornitori in competizione fra loro, che offrono connettività con uno schema di tariffe di tipo *flat*, in una situazione in cui gli effetti di congestione del traffico siano trascurabili, è descritto in [Coucheney 2012].

Tuttavia, le relazioni tra fornitori sono state analizzate anche con approcci differenti, rispetto a quelli descritti sino ad ora, e cioè modellando direttamente il comportamento *aggregato* degli utenti senza ricorrere alle funzioni di utilità. E' il caso tipico dei cosiddetti *modelli della domanda aggregata*, dove con domanda aggregata si intende una funzione che quantifica la domanda totale attesa da un fornitore, in funzione delle strategie di tutti gli *stakeholder* del sistema (in questo caso, i fornitori). Un approccio molto simile a questo è stato seguito nel presente lavoro di Tesi.

Evidentemente, anche in questi modelli si potrebbe arrivare a giustificare una particolare forma della funzione di domanda in termini di funzioni di utilità degli utenti: tuttavia si è già detto che questo approccio non è obbligatorio, e spesso accade che si scelga una particolare funzione di domanda proprio perchè essa soddisfa i principali *trend* che ci si attendono dal comportamento aggregato degli utenti.

Nel caso dei modelli della domanda aggregata sono state studiate diverse possibilità. L'esempio più comune è quello della *domanda lineare*, descritto in [Allon 2008], [Farahat 2009] e [Vives, 1990]. Uno dei vantaggi di questo approccio è la sua semplicità, dato che, come evidenziato nelle trattazioni ricordate, il vettore della domanda globale può essere determinato come risultato di operazioni lineari. Inoltre, l'approccio può essere esteso a varianti di modello le cui soluzioni possono essere individuate analiticamente (come avviene nel caso del duopolio, cioè di due fornitori con domanda lineare, in competizione tra loro). La semplicità di questo tipo di modello presenta tuttavia alcuni inconvenienti: si possono avere valori di domanda negativi, oppure valori dei ricavi che crescono indefinitamente. A questi problemi si può porre rimedio, affrontando complessità matematiche di diverso livello a seconda del problema, a scapito evidentemente della semplicità della formulazione analitica che si riduce conseguentemente. In letteratura si è anche esplorata l'opzione corrispondente alla *non linearità*, che però complica in maniera significativa le formulazioni analitiche e che qui non viene analizzata essendo fuori degli scopi del lavoro svolto.

C'è tuttavia un altro sviluppo dei modelli della domanda aggregata, quello che generalizza l'approccio delle utilità degli utenti con componenti aleatorie in base all'assunzione che le quote di mercato dei fornitori siano proporzionali alla loro *attrattività*. I modelli di domanda sviluppati secondo questo principio sono definiti *modelli d'attrazione* [Allon 2008], e

ricorrendo a funzioni d'utilità aleatorie, sono caratterizzati da funzioni di domanda riconducibili a quelle di modelli descritti in precedenza.

Un'altra possibilità che è stata considerata nella ricerca di settore è quella dei cosiddetti *modelli dinamici*, ovvero modelli economici in cui, come suggerisce la denominazione stessa, si prendono in considerazione aspetti dinamici (temporali) del problema.

Un caso tipico è la modellazione del *churn*, il fenomeno del cambiamento di fornitore da parte degli utenti [Wieland 2006]. Anche in questo caso però ci si può ricondurre ad una trattazione in cui il comportamento nel tempo degli utenti (nel caso specifico, la scelta del fornitore il cui servizio viene acquistato) è modellato attraverso il ricorso a processi aleatori. Il modello più diffuso per la rappresentazione delle probabilità di *churn* è noto in letteratura come *modello logit*, ed è basato sulla definizione di una funzione lineare dei (numerosi) determinanti del fenomeno, come descritto in [Kim 2004] e [Qi 2006]. Un altro esempio di analisi basata su questo approccio si può trovare in [Maillé 2009], dove, per evitare eccessive complicazioni della trattazione, viene utilizzata una catena di Markov (tempo-continua a stati finiti) [Norris, 1998]. Dato poi che il prezzo è uno dei determinanti più importanti del *churn*, un esempio di competizione basata esclusivamente sul prezzo è analizzata in [Buehler, 2006]. In tutte le situazioni ricordate non è in generale possibile dimostrare l'esistenza e l'unicità di un *equilibrio Nash*⁹: la soluzione analitica dipende dal grado di complessità delle funzioni di prezzo, e se per esse si assumono espressioni che rappresentano abbastanza fedelmente la realtà, è frequente il ricorso a simulazioni numeriche.

La necessità di indagare a fondo il *churn* ha portato a sviluppare modelli dinamici ancora più evoluti, dato che il problema è particolarmente sentito dagli Operatori di Telecomunicazione. In questi modelli si tiene conto anche di pratiche "non corrette", come l'introduzione di ritardi nei processi di migrazione di un utente da un fornitore all'altro [Buehler 2006]. Questi modelli hanno chiarito i termini del compromesso che insiste sul fornitore in relazione alle pratiche di *retention*, ovvero il bilanciamento tra il guadagno nei ricavi da sottoscrizione derivante dalla fidelizzazione dei clienti e le sanzioni imposte dall'Autorità di Regolamentazione. I modelli hanno dimostrato come le pratiche di fidelizzazione siano vantaggiose per il fornitore, se le sanzioni non sono troppo elevate e se gli utenti sono "pazienti" nell'attesa della composizione delle istanze che li riguardano. Si è così spiegato l'andamento crescente, riscontrato negli anni

⁹ Conosciuto anche come "equilibrio non cooperativo", l'"equilibrio Nash" è una condizione della Teoria dei Giochi che sussiste quando, date alcune strategie poste in essere da due concorrenti, nessuno dei due può migliorare la propria posizione adottando una strategia diversa.

2000, del numero di sanzioni comminate dall'Autorità agli operatori radiomobili, per stimolarne la competizione. Descrizioni interessanti di queste situazioni si possono trovare in [Maillé 2008] e [Naldi 2008].

Scenari e assunzioni

Consideriamo un sistema che comprenda una rete di comunicazione con capacità C , che venga utilizzata da $N \gg 1$ Utenti. Questi ultimi acquistano il servizio di connettività da un Operatore di Telecomunicazioni (*Network Service Provider, NSP*) e altri servizi da un Fornitore di contenuti / applicazioni (*Over-the-Top Provider, OTT*).

Una rappresentazione schematica degli attori del sistema e delle loro interazioni è riportata in Figura 8, dove sono evidenziati i prezzi che caratterizzano le diverse transazioni economiche.

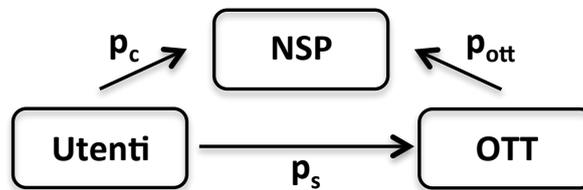


Figura 8 - Gli attori nel modello a tre agenti (scenario senza CDN) e le relazioni di prezzo nelle transazioni

Nel modello:

- gli Utenti sono coloro a cui sono indirizzati i servizi, ovvero i soggetti il cui interesse è l'acquisto dei servizi, qualora il prezzo di questi ultimi sia "ragionevole";
- l'Operatore di Telecomunicazioni (*NSP*) fornisce i servizi di rete, ovvero integra il ruolo di *Access Network Service Provider*, che possiede le risorse per garantire l'accesso e offrirlo agli utenti, e il ruolo di *Transit Provider*, che possiede e gestisce la rete *core*, trasferendo il traffico tra gli *Access Provider* e/o altri *Transit Provider*;
- l'*Over-the-Top Provider (OTT)* integra i ruoli di *Content Provider*, fornitore di contenuti, e *Application Service Provider*, fornitore di punti d'accesso alla rete per i *Content Provider*, e di *hosting* contenuti in modo che tali contenuti possano essere raggiunti *online*.

Nel seguito dell'analisi, saranno considerati due diversi scenari di comunicazione.

Chiameremo "distribuzione servizi tradizionale" lo scenario (Figura 9) in cui la comunicazione tra *OTT* e Utenti avviene senza la mediazione di una *CDN (Content Delivery Network)*. In tal modo potremo trascurare, in prima approssimazione,

- la complessità degli scambi degli Utenti, che dovrebbero essere re-indirizzati alle *cache* della *CDN*;
- la complessità dei meccanismi intelligenti della *CDN*, che dovrebbero selezionare e inserire nelle *cache* i contenuti rilevanti.

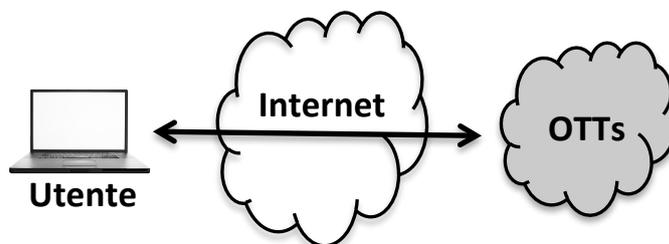


Figura 9 - Scenario 1: distribuzione servizi tradizionale (comunicazioni senza *CDN*)

Definiremo invece "distribuzione servizi evoluta" lo scenario (Figura 10) in cui l'*OTT* ricorre alla *CDN* per garantire agli Utenti migliori prestazioni, in termini di qualità e disponibilità, nell'accesso a contenuti / applicazioni.

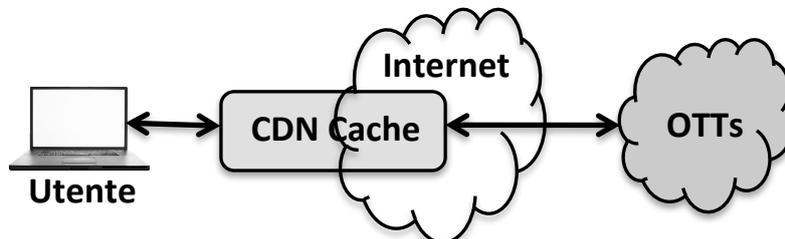


Figura 10 - Scenario 2: distribuzione servizi evoluta (comunicazioni con *CDN*). Grazie alla *cache*, non è necessario il download contenuti / applicazioni dell'*OTT* ad ogni richiesta dell'Utente

E' evidente che nel caso di distribuzione evoluta dei servizi, la rappresentazione schematica del modello tecnico-economico assumerà la forma illustrata in Figura 11, dove compare un ulteriore *stakeholder*, il *CDN-Provider*, che gestisce i *data center* collegati a *Internet*, dislocati nella *edge network* per migliorare qualità e disponibilità dei servizi, e utilizzati come infrastruttura dai Fornitori di contenuti / applicazioni.

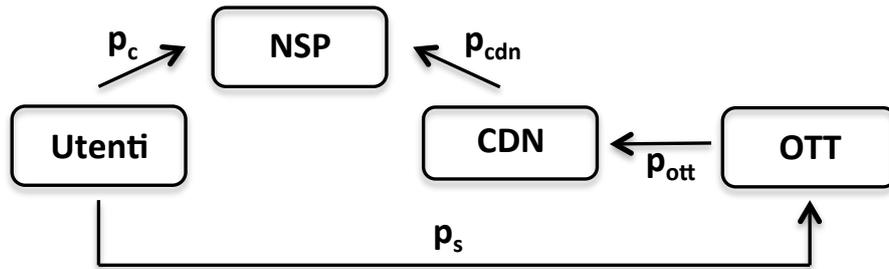


Figura 11 - Gli attori nel modello a quattro agenti (scenario con CDN) e le relazioni di prezzo nelle transazioni

Le aspettative degli Utenti sui servizi erogati in rete saranno in generale differenti. Ai fini delle valutazioni che seguono si assumerà che l'utilità percepita da un Utente che genera un volume di traffico x , ovvero la sua *willingness to pay*, sia esprimibile come

$$V_u(x, w; v) = v(\sqrt{x} + w_s)$$

dove

- v è un parametro che differenzia le tipologie di Utente, caratterizzate da una distribuzione che *per ipotesi* assumeremo uniforme nell'intervallo $[0, 1]$ ¹⁰;
- w_s è una costante che rappresenta la disponibilità dell'Utente a impiegare parte del *budget* personale per acquistare contenuti /applicazioni.

Nella formula, l'utilità è stata espressa come una funzione $\sqrt{\cdot}$, in modo che i valori dell'utilità marginale¹¹ derivante dall'acquisto di un servizio siano decrescenti.

L'interpretazione del parametro v è la seguente: alti valori di v caratterizzeranno Utenti che intendono fare uso di maggiore banda, perchè percepiscono un elevato valore di utilità della connettività e del servizio fornito dall'*OTT*; diversamente, bassi valori di v corrisponderanno ad Utenti poco propensi a consumare banda e ad acquistare il servizio.

Per motivi che saranno chiari nel seguito della trattazione, indicando con \bar{x} il volume di traffico massimo generato da un Utente, risulta conveniente esprimere w_s come

¹⁰ La trattazione si estende facilmente al caso in cui il parametro v segua una distribuzione diversa da quella uniforme.

¹¹ In Economia, l'utilità "marginale" di un bene o servizio è il guadagno per l'aumento (oppure la perdita per la diminuzione) del consumo di quel bene o servizio. La legge dell'utilità marginale decrescente (nota anche come "prima legge di Gossen") stabilisce che la prima unità di consumo di un bene o servizio origina una utilità maggiore della seconda e delle successive unità, con una riduzione progressiva al crescere del numero delle unità. Nell'Economia neoclassica, l'utilità marginale è la derivata della funzione di utilità u rispetto ad una grandezza g che caratterizza un certo stato S , e la nozione di utilità marginale decrescente corrisponde alla condizione analitica ($\partial^2 u / \partial g^2 < 0$).

$$w_s = \omega \sqrt{x}$$

essendo $\omega > 0$ un coefficiente di proporzionalità.

Indipendentemente dalla formulazione utilizzata, l'espressione $V_u(x, w; v)$ è di grande rilevanza, perchè definisce la condizione d'acquisto del servizio per gli Utenti: un servizio con prezzo p verrà acquistato solo quando il beneficio *netto* percepito per l'acquisto, chiamato anche "utilità", pari alla differenza

$$u = V_u - p$$

risulterà non negativo ($u \geq 0$).

L'espressione della funzione d'utilità qui definita nella forma "quasi lineare" permette di fare alcune importanti osservazioni.

Per i Fornitori, che diversamente dagli Utenti non devono stabilire se "entrare o meno nel mercato", ma sono già parte integrante del sistema, l'espressione "quasi lineare" della funzione di utilità corrisponde a una importante variabile economica: il profitto d'impresa.

E' così possibile determinare la funzione d'utilità identificando i ricavi d'impresa, e sottraendo ad essi i costi sostenuti per la produzione di un certo bene o l'erogazione di un servizio.

Nelle successive analisi, le funzioni d'utilità dei Fornitori saranno determinate seguendo questa procedura, con la sola eccezione dell'Operatore di Telecomunicazioni (*NSP*), per i cui costi sono fatte qui di seguito ipotesi aggiuntive.

Infatti, i costi dello *NSP* si possono scrivere, detto $c(v)$ il costo operativo di una connessione,

$$C_{nsp}(p_c; x, v) = \int_{v_{min}}^1 c(v) N dv$$

formula in cui

- p_c rappresenta il prezzo di mercato di una connessione;
- si è indicato con $[v_{min}, 1]$ l'intervallo di valori v di utenti con *budget* sufficiente per l'acquisto di una connessione; evidentemente, sarà $v = v(p_c)$;
- si è posto uguale a $c(v)$ il costo *operativo* di gestione (*OPEX*) di una connessione;
- si è ipotizzato infine che il costo *infrastrutturale* della connessione (*CAPEX*) sia già ammortizzato al momento dell'analisi.

E' altresì ragionevole assumere che sia $c(v) \approx \text{costante}$, pur essendo tale valore effettivamente incognito, in quanto informazione generalmente riservata fra i dati operativi dell'Operatore di Telecomunicazioni.

In situazioni reali, se R_{nsp} rappresenta i ricavi dello *NSP*, i dati di bilancio dimostrano che $R(\cdot)_{nsp} \gg C_{nsp}(\cdot)$ e dunque, ricordando che p_c indica il prezzo della singola connessione, sarà anche $c \ll p_c$.

Ne consegue che i costi operativi di una connessione, che, si ribadisce, costituiscono per l'operatore un'informazione riservata, se fossero divulgati risulterebbero in prima approssimazione costanti e in valore assoluto poco rilevanti.

Per tale ragione nella presente trattazione si ritiene lecito trascurarli, e di conseguenza per l'Operatore di Telecomunicazioni si assumerà $C_{nsp}(\cdot) \approx 0$.

La connettività nel modello a due agenti: Utenti e Operatore di Comunicazione

Concentrando inizialmente l'analisi sulle interazioni tra Operatore di Telecomunicazioni (*NSP*) e Utenti (*USR*) interessati all'acquisto dei soli servizi di connettività (Figura 12), si può osservare quanto segue, utilizzando un modello semplificato *a due agenti* per l'Accesso, in uno scenario di "distribuzione servizi tradizionale".

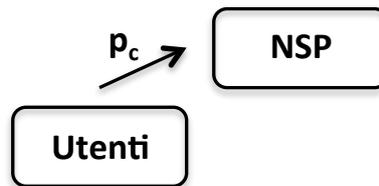


Figura 12 - Modello semplificato a due agenti per l'Accesso alla rete: attori e prezzo della transazione

Il caso che qui viene mostrato è preso da [Mo 2011] e viene riproposto e ampliato per illustrare meglio le estensioni del modello sviluppate in questo lavoro.

Se $x(v)$ è il volume di traffico generato da un Utente di tipo v , il volume di traffico totale in rete T sarà dato da

$$T = \int_0^1 x(v) N dv$$

con l'Operatore di Telecomunicazioni che addebiterà un prezzo $p_c(x)$ per trasmettere un volume di traffico pari a x .

Per semplicità, si assume che il prezzo sia rappresentato da una funzione lineare del tipo $p_c(x) = p_c + \lambda x$, in modo da poter analizzare il caso della tariffa *flat* ($\lambda = 0$), e della sola tariffa "a volume" ($p_c = 0$). La procedura seguita per l'analisi si estende anche al caso di tariffa "mista" ovvero "a due componenti" ($p_c \neq 0, \lambda \neq 0$).

Un Utente di tipo v acquisterà il servizio di connettività cercando di massimizzare l'utilità netta che percepisce, ovvero la differenza tra il beneficio percepito V_u e il prezzo effettivamente corrisposto per il traffico

$$u_v(x; v) = V_u - p_c(x) = v\sqrt{x} - p_c(x)$$

Nell'espressione V_u qui utilizzata, il termine w_s è stato omissso, essendo l'oggetto di questa analisi iniziale limitato per ipotesi alla sola connettività.

Allora il volume di traffico $x(v)$ di un Utente di tipo v si otterrà risolvendo il "problema dell'Utente" (P_{usr})

$$x(v) = \arg \max_{0 \leq x \leq \bar{x}} (v\sqrt{x} - p_c(x))$$

dove il volume di traffico generato da tutti gli Utenti, per fissato v , sarà minore o uguale a \bar{x} , per le ovvie limitazioni che lo *NSP* avrà posto sul ritmo di traffico (*access rate*) degli Utenti stessi.

L'Operatore di Telecomunicazioni, a sua volta, cercherà di massimizzare i ricavi R_{nsp} delle vendite espressi dalla formula

$$R_{nsp} = \int_0^1 p_c(x(v)) N dv$$

Perciò, il "problema dell'Operatore" inteso qui come Fornitore dell'accesso in rete (P_{nsp}) sarà quello di

$$\text{massimizzare } \int_0^1 p_c(x(v)) N dv$$

Il *social welfare* W del sistema, ovvero la somma delle funzioni d'utilità di tutti gli attori inclusi nel modello, sarà dato da

$$W = \int_0^1 V_u(x; v) N dv = \int_0^1 v\sqrt{x} N dv$$

La quota di *welfare* dell'Operatore di Telecomunicazioni (che ne definisce il contributo al valore totale della *supply chain*) sarà R_{nsp} calcolato sul totale pari a W . Di conseguenza, la quota di *welfare* distribuita agli Utenti, il cosiddetto *user welfare*, sarà uguale a $W - R_{nsp}$.

Si sottolinea che il *welfare* e le sue diverse quote possono essere utilizzate per valutare gli effetti di eventuali interventi di un ente di regolamentazione governativa (Autorità di Regolamentazione), nel caso in cui le condizioni di libero mercato non conducano alla individuazione del prezzo ottimo per gli *stakeholder* del modello.

L'obiettivo dell'Autorità, nel caso in cui il soggetto istituzionale fosse incluso nel modello, potrebbe dunque essere quello di favorire una distribuzione equa delle risorse totali del sistema attraverso il bilanciamento dei rapporti $(R/W)_{nsp}$ e $[(W - R)/W]_{usr}$.

Supponiamo ora che l'Operatore di Telecomunicazioni offra agli Utenti l'accesso in rete a prezzo *flat*, ovvero sia

$$p_c(x) = p_c, \quad p_c > 0$$

Poichè il costo marginale¹² è nullo, gli Utenti genereranno il volume di traffico massimo \bar{x} (si veda più sopra) se l'utilità percepita sarà più grande del valore della tariffa *flat* - altrimenti, produrranno traffico nullo. In altre parole, il traffico $x(v)$ di un utente di tipo v sarà dato da:

$$x(v) = \begin{cases} \bar{x}, & \text{se } v = p_c/\sqrt{\bar{x}} \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Poichè l'utilità netta $v\sqrt{\bar{x}} - p_c$ è funzione crescente di v , i sottoscrittori del servizio di connettività saranno i soli Utenti per i quali $u(x; v) \geq 0$, ovvero gli Utenti con $v \geq v_{min} \equiv v_1$, dove

$$v_1 := p_c/\sqrt{\bar{x}}$$

Perciò il tasso di sottoscrizione del servizio nell'ipotesi di prezzo *flat* sarà pari a $(1 - v_1)$, ovvero $(1 - p_c/\sqrt{\bar{x}})$.

I ricavi di vendita $R_{nsp}(p)$ dell'Operatore di Telecomunicazioni nell'ipotesi di prezzo *flat* saranno:

$$R_{nsp}(p_c) = \int_{v_1}^1 p_c(x(v)) dv = N p_c (1 - v_1) = N p_c \left(1 - p_c/\sqrt{\bar{x}}\right)$$

¹² Il costo marginale è la variazione nel costo totale che si verifica quando la quantità prodotta subisce l'incremento di una unità. Evidentemente, per $p(x) = \text{cost.}$, $dp(x)/dx = 0$.

La condizione di massimo per i ricavi dello *NSP*,

$$\left. \frac{\partial R_{nsp}}{\partial p_c} \right|_{x=\bar{x}} = 0$$

fornirà il valore del prezzo ottimo p_c^* per la connettività. Precisamente, si avrà:

$$N \left(1 - p_c^*/\sqrt{\bar{x}}\right) N p_c^*/\sqrt{\bar{x}} = 0$$

da cui

$$p_c^* = \sqrt{\bar{x}}/2$$

In corrispondenza del prezzo ottimo p_c^* , i ricavi di vendita dell'operatore e il *social welfare* saranno dati rispettivamente dalle formule

$$R(p_c^*) = (1/4) N\sqrt{\bar{x}} \quad \text{e} \quad W(p_c^*) = (3/8) N\sqrt{\bar{x}}$$

L'espressione generale del *social welfare* assumerà la forma

$$W(p_c) = N \frac{\sqrt{\bar{x}}}{2} \left(1 - \frac{p_c^2}{\bar{x}}\right)$$

Rappresentando su grafico ricavi e *social welfare* come in [Mo 2011] al variare del prezzo "normalizzato" della connessione, $p_c/\sqrt{\bar{x}}$, si ottiene l'andamento riportato in Figura 13

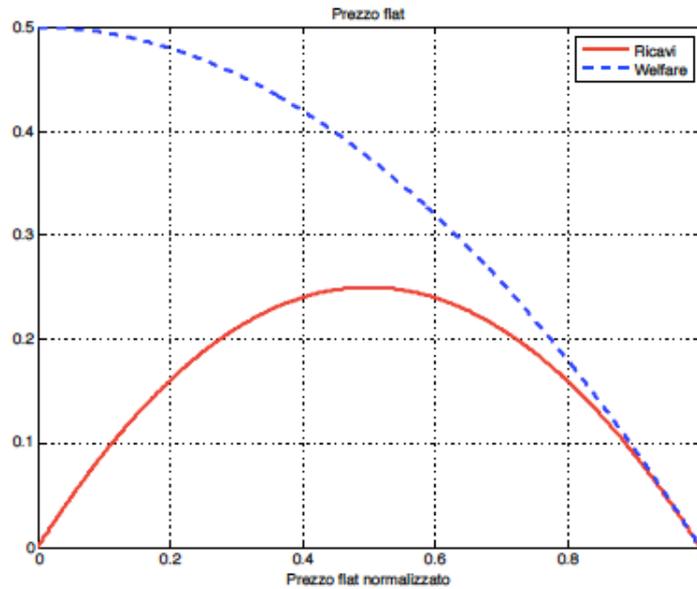


Figura 13 - Ricavi dell'Operatore di Telecomunicazioni NSP e social welfare

con le curve in figura che confermano quanto già ottenuto per via analitica in relazione a valore e posizione del punto di massimo $R_{nsp}(p_c^*)$, e valore del *social welfare* $W(p_c^*)$ in corrispondenza del prezzo ottimo p_c^* precedentemente ricavato.

Se però si rappresentano sullo stesso diagramma le altre espressioni del *welfare*, si possono evidenziare altri importanti elementi sulle condizioni ottime nel modello (semplificato) fin qui considerato.

Infatti, la frazione del *social welfare* "catturata" dall'Operatore di Telecomunicazioni, in conseguenza della politica di *pricing* adottata per il servizio acquistato dagli Utenti, è data da

$$\left(\frac{R}{W}\right)_{nsp} = \frac{2p_c}{\sqrt{x} + p_c}$$

espressione che rende peraltro evidente che il rapporto trattenuto dallo NSP è tanto più grande quanto maggiore è il prezzo p_c .

La quota di *social welfare* distribuita agli Utenti è invece data dalla formula

$$\left(\frac{W - R}{W}\right)_{usr} = \frac{1 - p_c/\sqrt{x}}{1 + p_c/\sqrt{x}}$$

quota che, come è lecito attendersi, ha andamento "speculare", nel senso che tende a ridursi progressivamente al crescere del valore di p_c .

Tracciando il grafico delle diverse espressioni del *welfare* in funzione del prezzo p_c si ottiene quanto illustrato in Figura 14.

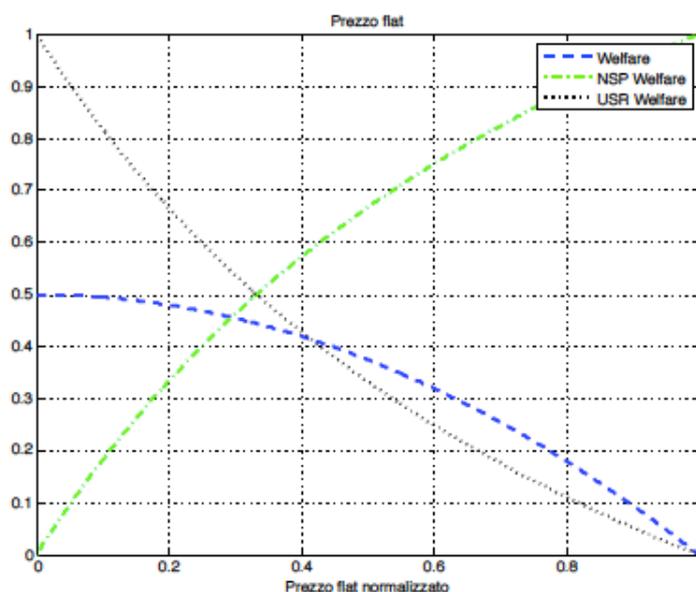


Figura 14 - Social welfare, welfare dell'Operatore di Telecomunicazioni NSP e welfare degli Utenti USR

E' allora evidente che non esiste *un singolo valore* di prezzo normalizzato p_c/\sqrt{x} , bensì un *intervallo* di prezzi p_c/\sqrt{x} , in corrispondenza del quale tutti gli *stakeholder* del sistema presentano valori positivi della quota di *welfare*. Tale intervallo corrisponde all'area di forma approssimativamente triangolare individuata dalle intersezioni delle tre curve rappresentate in figura. Il risultato descritto giustifica quindi le possibilità di intervento di una eventuale Autorità di Regolamentazione per favorire, fra tutti i valori possibili di p_c , quello che, in un particolare scenario tecnologico e di mercato, assicuri le condizioni non di maggior profitto per uno degli attori del sistema, ma piuttosto quelle di maggiore sostenibilità per il sistema nel suo complesso.

Modelli per il *pricing* dei servizi a tariffa *flat*

Nei servizi a tariffa *flat*, agli Utenti viene richiesto un importo prestabilito dal Fornitore del servizio (costo di sottoscrizione), corrisposto il quale i clienti non hanno vincoli di consumo, ovvero non devono pagare importi addizionali in ragione del consumo effettuato.

Per l'analisi di schemi di *pricing* a tariffe *flat*, è stato elaborato un modello *multi-level* dell'ecosistema dei servizi delle telecomunicazioni, che presenta alcune caratteristiche di originalità, e precisamente:

- la considerazione delle principali tipologie di attori, che sono inclusi nel modello avendo riguardo per la centralità di alcuni ruoli rispetto ad altri;
- l'analisi non di uno soltanto, bensì di diversi tipi di servizi simultaneamente e delle eventuali condizioni che gli Utenti devono osservare per l'acquisto degli stessi;
- una struttura "simmetrica" del modello, che lo rende utilizzabile per l'indagine dei flussi del valore sia nel *download* che nell'*upload* di contenuti / applicazioni;
- l'applicabilità a scenari d'utilizzo di infrastrutture tecnologiche per la distribuzione dei servizi sia "tradizionali" (senza *CDN*) che "evolute" (con *CDN*), con valutazioni separate degli impatti sul problema e analisi comparative dei risultati;
- la considerazione del ruolo dell'*innovazione tecnologica* come leva per il differimento degli investimenti necessari per aggiornare l'infrastruttura tecnologica, senz'altro ingenti in un settore ad alta intensità di capitale come quello dei servizi di telecomunicazione.

Per studiare la competizione tra Fornitori dei diversi servizi, nella elaborazione dei modelli sono state fatte alcune assunzioni. Tali ipotesi sono ritenute "ragionevoli", sulla base della conoscenza delle dinamiche di settore maturata con l'attività professionale condotta dall'Autore in alcune grandi imprese di settore. Le principali assunzioni sono le seguenti:

- perimetro dell'indagine limitata ai servizi su rete fissa;
- irrilevanza degli effetti di congestione da traffico di rete, in quanto si è assunto che la capacità della rete non sia saturata dal traffico generato dagli utenti del sistema, e si è

fatta l'ipotesi specifica che il traffico indotto dai servizi basati su contenuti / applicazioni sia pari, per singola connessione, a una frazione del traffico massimo possibile;

- infrastruttura tecnologica per la distribuzione dei servizi di telecomunicazione di tipo sia "tradizionale" (ovverosia priva di funzionalità tipiche delle *CDN*) che "evoluta" (cioè dotata di *CDN*);
- utilità degli agenti del modello (cioè benefici netti percepiti a seguito del consumo dei servizi oppure profitti d'impresa) formulate in forma "quasi lineare" ed espresse in "unità monetarie";
- tariffe di mercato *flat* sia per la connettività che per gli altri servizi digitali destinati alla clientela residenziale;
- tariffe sia *flat* che "a volume"¹³ per i servizi dell'Operatore di Telecomunicazioni erogati alla clientela *business*, con possibilità di *sconti* sugli importi effettivamente dovuti per i servizi;
- ruolo di puro *brokering* del Fornitore di servizi *CDN*, ovvero utenza del fornitore limitata alla sola clientela *business* (*OTT*);
- "chiusura" del modello rispetto ad altre fonti di ricavo che non siano quelle derivanti dagli acquisti dei servizi effettuati dagli Utenti.

Per lo studio delle relazioni fra gli *stakeholder* si è partiti da un modello semplificato dell'Accesso alla rete [Mo 2011] descritto nel Capitolo precedente, modello in cui figurano due sole tipologie di agenti (Utenti e Operatore di Telecomunicazioni *NSP*), ampliando ed estendendo i risultati di letteratura nelle seguenti direzioni:

- aggiunta di un "terzo livello" (*OTT*) al modello semplificato di partenza;
- considerazione delle relazioni *business-to-consumer* (*B2C*) utente-fornitore, e delle relazioni *business-to-business* (*B2B*) fornitore-fornitore (ad esempio, l'*OTT* ha una clientela residenziale, ma nello stesso tempo fa parte della clientela *business* del *NSP*) [Coucheney 2012];
- generalizzazione dell'utilità dell'Utente al caso dell'acquisto di servizi diversi dalla connettività;
- aggiunta di un "quarto livello" (*CDN*) al modello semplificato, per simulare la distribuzione dei servizi su infrastrutture di rete fissa tecnologicamente "evolute";

¹³ I risultati della trattazione degli scenari con tariffe "a volume" sono riportati, per ragioni di chiarezza espositiva, nel Capitolo successivo.

- analisi d'impatto del cambiamento della tipologia di tariffazione, da tariffe *flat* a tariffe "a volume" (si veda in proposito la nota 1 a piè di pagina);
- quantificazione dei costi per tutti gli agenti (con la sola eccezione dello *NSP*, a fronte delle assunzioni motivate nella sezione *Scenari e Assunzioni* del Capitolo precedente);
- considerazione di diversi tipi di traffico da servizi simultaneamente veicolati dalla rete;
- prezzi "ottimi" determinati secondo due modalità, ovverosia imponendo condizioni di stazionarietà ad alcune funzioni identificate nella trattazione, oppure condizioni di efficienza complessiva del sistema espresse attraverso le formule del *welfare*.

I servizi nel modello a tre agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione e OTT

Analizzate le interazioni tra Operatore di Telecomunicazioni (*NSP*) e Utenti (*USR*), relativamente all'acquisto dell'accesso in rete, consideriamo gli impatti della presenza nel sistema dell'*OTT*, che offra agli Utenti servizi diversi dalla connettività. Il numero degli *stakeholder* considerati nel modello, rispetto allo scenario semplificato analizzato nel modello a due agenti del capitolo precedente, sale perciò a tre.

Per ragioni di chiarezza, indicheremo con $p_c(x)$ il prezzo della connettività offerta agli utenti dall'Operatore di Telecomunicazioni e con $p_s(x)$ il prezzo dei servizi offerti dall'*OTT* ai propri clienti.

L'*OTT* pagherà inoltre allo *NSP* un prezzo $p_{OTT}(x)$ per i servizi ricevuti.

Lo scenario considerato in questa sezione sarà quello di comunicazioni realizzate *senza* ricorrere ad una *CDN*.

La situazione descritta corrisponde esattamente a quella dello schema nella Figura 8 della sezione *Scenari e Assunzioni* (Capitolo precedente), riportato qui di seguito come riferimento per la successiva analisi.

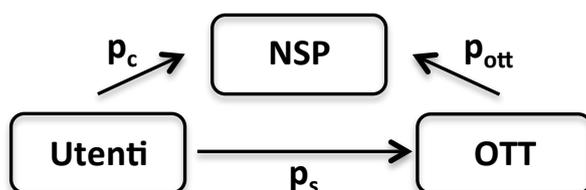


Figura 15 - Gli attori nel modello a tre agenti (scenario senza *CDN*) e le relazioni di prezzo nelle transazioni

Ricordando che abbiamo indicato con w_s il valore attribuito dagli utenti al servizio dell'*OTT*, l'utilità netta che un utente di tipo v cercherà di massimizzare, acquistando prima la connettività dall'Operatore di Telecomunicazioni e poi uno specifico servizio dall'*OTT*, sarà

$$u(x, w_s; p_c, p_s; v) = v(\sqrt{x} + w_s) - p_c - p_s = v\sqrt{x}(1 + \omega) - p_c - p_s$$

avendo assunto, come descritto in precedenza, $\omega = w_s/\sqrt{x} > 0$.

In questa funzione, $v(\sqrt{x} + w_s)$ rappresenta il valore attribuito dall'Utente ai servizi oggetto del suo acquisto (*willingness to pay*), mentre $p_c + p_s$ è il prezzo effettivamente pagato dall'Utente.

Il volume di traffico complessivo $x(v)$ di un utente di tipo v si otterrà risolvendo il "problema dell'utente" (P_{USR}), la cui espressione in questo caso sarà data da

$$x(v) = \arg \max_{0 \leq x \leq \bar{x}} (v\sqrt{x}(1 + \omega) - p_c - p_s)$$

Il traffico $x(v)$ generato da un utente di tipo v sarà in questo caso dato da

$$x(v) = \begin{cases} \bar{x}, & \text{se } v = (p_c + p_s)/(\sqrt{\bar{x}}(1 + \omega)) \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

espressione in cui figura uno specifico valore di v che discrimina le due soluzioni per il traffico.

Questo valore, ricavato specificando la condizione *necessaria* per l'acquisto di entrambi i servizi da parte dell'Utente (beneficio netto percepito non negativo, cioè $u(x, w_s; p_c, p_s; v) \geq 0$), nel resto dell'analisi sarà indicato come

$$v_2 := (p_c + p_s)/(\sqrt{\bar{x}}(1 + \omega))$$

Il problema dello *NSP* (P_{NSP}) e quello dell'*OTT* (P_{OTT}), in questo scenario, consisteranno nella massimizzazione del profitto d'impresa, inteso come differenza tra ricavi e costi.

Importante osservare che, in questo modello, la formulazione delle funzioni di utilità dei Fornitori tiene conto non solo della relazione con gli altri attori del sistema ma anche della

loro relazione reciproca [Altman 2012]. Infatti l'*OTT*, interagendo sia con gli Utenti che con lo *NSP*, realizza quella che possiamo definire "la chiusura" del modello: i ricavi dell'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* derivanti dai servizi per il Fornitore di contenuti / applicazioni rappresentano i costi nella funzione di utilità dell'*OTT*.

Perciò, i ricavi dell'*OTT* deriveranno essenzialmente dall'acquisto del servizio al prezzo $p_s(x)$ da parte degli Utenti con *budget* di spesa "sufficiente", cioè con $v \in [v_2, 1]$. Sarà cioè

$$R_{OTT}(p_s) = \int_{v_2}^1 p_s M dv, \quad M = qN, q < 1$$

Si noti in questa formula che il fattore moltiplicativo della "densità" dei clienti dell'*OTT* - con distribuzione per ipotesi uniforme quando v varia in $[0,1]$ - è uguale a $M = qN, q < 1$. Infatti, nello scenario "distribuzione servizi tradizionale", non essendo presente una *CDN*, si assume che l'*OTT* raggiungerà un numero di clienti $< N$ (numero che in uno scenario reale ci attendiamo in realtà $\ll N$...). Dal punto di vista della soluzione tecnologica, infatti, in assenza di *CDN* non è garantita per tutti gli N utenti la possibilità di fruire del servizio fornito dall'*OTT* secondo specifici requisiti di qualità del servizio (*QoS*). La conseguenza di natura economica è che se un *OTT* decide di non utilizzare una *CDN* rischia una penalizzazione dei ricavi causata dalla riduzione del mercato potenziale.

I costi dell'*OTT*, invece, dipenderanno evidentemente dal traffico aggregato Y di tutti i clienti che avranno acquistato il servizio dell'*OTT* al prezzo p_s . In questa analisi, assumeremo che l'operatore di rete applichi all'*OTT* una tariffa *flat*, immaginando che il traffico indotto x per connessione non superi un limite x_0 concordato.

Pertanto, con riferimento al *singolo Utente* i costi dell'*OTT* saranno dati dall'espressione

$$c_{OTT}(y, v) = p_{OTT}, \quad y \leq x_0$$

dove y è il traffico indotto dal singolo cliente di tipo v dell'*OTT* (traffico *per cliente*), che è ragionevole ipotizzare pari a una frazione del traffico massimo \bar{x} per Utente, ovvero

$$y(v) = \alpha \bar{x}, \quad \alpha \leq 1$$

In altri termini, il servizio fornito dall'*OTT* occuperà soltanto una frazione della capacità fornita al singolo Utente.

Naturalmente, il traffico aggregato dei clienti dell'*OTT*, traffico che determinerà i costi complessivi, sarà dato da

$$Y = \int_{v_2}^1 y(v)Mdv$$

Ciò premesso, il profitto dell'*OTT* sarà allora uguale a

$$u_{OTT}(p_c, p_s, Y; v) = R_{OTT}(p_s) - C_{OTT}(Y) = \int_{v_2}^1 p_s M dv - \int_{v_2}^1 c_{OTT}(y) M dv, \quad M = qN, q < 1$$

Ricordando che abbiamo ipotizzato l'offerta di servizi a tariffe flat da parte di tutti i Fornitori, per l'*OTT*, in particolare, ciò significherà

$$p_s(x; v) = p_s, \quad v \geq v_2$$

In queste ipotesi il profitto dell'*OTT* sarà espresso dalla formula

$$u_{OTT}(p_c, p_s) = qN \left(p_s \int_{v_2}^1 dv - p_{OTT} \int_{v_2}^1 dv \right) = qN(1 - v_2)(p_s - p_{OTT})$$

dove si è assunto che l'Operatore di Telecomunicazioni applichi all'*OTT* un prezzo flat, per cliente, "scontato" rispetto a quello di mercato (praticato al singolo Utente), ovvero si è assunto

$$p_{OTT} = \eta p_c, \quad \eta < 1$$

Si noti come il profitto dell'*OTT* dipenda dalla differenza tra p_s e p_{OTT} , ovvero, per l'ipotesi fatta su p_{OTT} , dalla differenza tra p_s e p_c , e dalla quantità $(1 - v_2)$, che rappresenta il tasso di sottoscrizione del servizio *OTT* da parte degli Utenti.

Esplicitando le "variabili di mercato" p_c e p_s , la formula ricavata, normalizzando opportunamente i prezzi e $u_{OTT}(\cdot)$, diventa

$$\frac{u_{OTT}(p_c, p_s)}{N\sqrt{x}} = q \left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{x}} - \frac{p_s}{\sqrt{x}} \right) \left(\frac{p_s}{\sqrt{x}} - \eta \frac{p_c}{\sqrt{x}} \right)$$

Il grafico tridimensionale del profitto "normalizzato" dell'*OTT* è illustrato nella Figura 16, avendo assunto una penetrazione del servizio *OTT* pari a circa il 25% del mercato potenziale ($q = 0.25$), e un prezzo p_{OTT} scontato del 25% ($\eta = 0.75$) rispetto al prezzo di mercato della connessione.

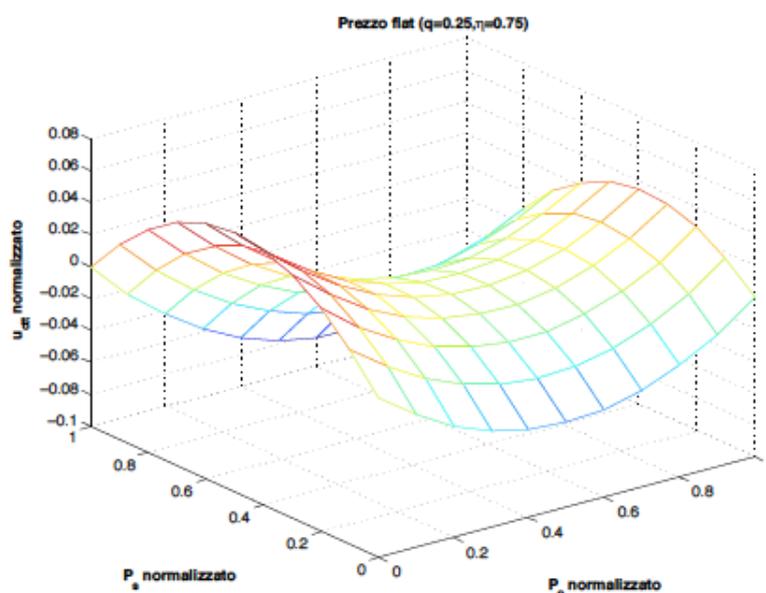


Figura 16 - Profitto normalizzato dell'*OTT*

La forma della superficie corrispondente al profitto dell'*OTT* è simile a quella di un paraboloide a sella.

Per un valore fissato di p_c , la curva u_{OTT} funzione di p_s presenta un massimo, tanto maggiore quanto più il valore di p_c è prossimo a uno degli estremi dell'intervallo di variazione.

Se il prezzo della connessione è basso, infatti, c'è l'opportunità di alti profitti per l'*OTT* non solo perchè aumentano gli Utenti con *budget* sufficiente per l'acquisto del servizio (e quindi cresce il tasso di sottoscrizione), ma anche perchè calano i costi complessivi, dipendenti da p_{OTT} e quindi dal prezzo p_c della connessione.

Nel caso opposto, e cioè quando l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* fissa un prezzo elevato per la connessione, se anche l'*OTT* compete nella fascia alta dei prezzi, il tasso di sottoscrizione si riduce significativamente, e lo stesso avviene per il profitto u_{OTT} ; se viceversa l'*OTT* adotta una strategia di prezzi bassi, viene amplificato l'effetto depressivo sul profitto della differenza $(p_s - p_{OTT})$, effetto che è già influenzato negativamente dall'impatto dell'alto valore di p_c . E' chiaro allora che in questo caso la strategia più conveniente per l'*OTT* è quella

di fissare un valore di p_s intermedio fra gli estremi dell'intervallo di variabilità, come evidente dalla figura citata.

Il profitto dell'Operatore di Telecomunicazioni *NSP*, assumendo che i costi della rete (*CAPEX*) siano stati ammortizzati nel tempo, e trascurando per semplicità i costi operativi (*OPEX*), che, riferiti alla singola connessione, risultano molto minori della redditività della stessa (si veda la sezione *Scenari e Assunzioni*, nel Capitolo precedente), sarà dovuto ai ricavi dalla vendita di connessioni Utente e ai ricavi da servizi *business*, ovvero quelli da servizi per l'*OTT*.

Analiticamente:

$$u_{nsp}(p_c, p_s, x, v) = \int_{v_1}^1 p_c(x) N dv + \int_{v_2}^1 p_{OTT}(x) M dv, \quad M = qN, q < 1$$

ove il secondo termine, che figura con segno cambiato nel profitto *OTT*, è l'effetto (già descritto) della "chiusura" del modello, mentre il primo termine è il risultato dell'azione dello *NSP* sul mercato residenziale della connettività.

Si noti la differenza fra gli estremi inferiori d'integrazione dei due termini, nel primo dei quali figurano gli utenti con *budget* sufficiente all'acquisto della sola connessione alla rete ($v \in [v_1, 1]$), mentre nel secondo gli utenti con *budget* sufficiente all'acquisto di connessione e servizio *OTT* ($v \in [v_2, 1]$).

Rammentando che abbiamo ipotizzato l'offerta di servizi a tariffe *flat* da parte di tutti i fornitori, per lo *NSP* ciò significherà che

$$p_c(x; v) = p_c, \quad v \geq v_1$$

In questa ipotesi il profitto dello *NSP* sarà espresso dalla formula "semplificata"

$$u_{nsp}(p_c, p_{OTT}) = N(p_c(1 - v_1) + qp_{OTT}(1 - v_2)), \quad p_{OTT} = \eta p_c, \eta < 1$$

che, esplicitata nelle "variabili di mercato" p_c e p_s , diventa, normalizzando opportunamente i prezzi e $u_{nsp}(\cdot)$,

$$\frac{u_{nsp}(p_c, p_s)}{N\sqrt{x}} = \frac{p_c}{\sqrt{x}} \left((1 + q\eta) \left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{x}} \right) - q\eta \frac{p_s}{\sqrt{x}} \right)$$

e mostra come il profitto dello *NSP*, fissato il valore di p_s , abbia andamento crescente in un primo momento, per effetto della penetrazione in aumento del servizio di connettività, per poi decrescere significativamente a seguito del "crollo" di entrambi i tassi di sottoscrizione dei servizi per elevati valori di p_c e p_s .

Si noti la dipendenza del profitto dal *prodotto* dei valori q e η , che rappresentano rispettivamente la penetrazione del servizio *OTT* e lo sconto sui servizi applicato dallo *NSP* all'*OTT*.

Il grafico tridimensionale del profitto normalizzato dello *NSP* è illustrato nella Figura 17, avendo mantenuto l'ipotesi di una penetrazione del servizio dell'*OTT* pari a circa il 25% ($q = 0.25$) del mercato potenziale, e uno sconto sempre del 25% ($\eta = 0.75$) applicato all'*OTT* sul prezzo di mercato della connessione.

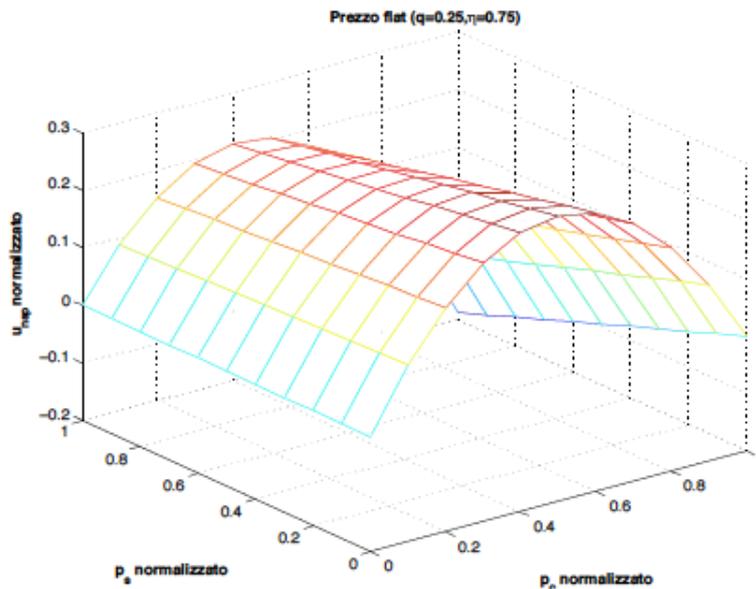


Figura 17 - Profitto normalizzato dello *NSP*

La forma della superficie associata al profitto dello *NSP* è simile a quella di una porzione di cilindro.

Vi è una lieve asimmetria nelle aree di rischio finanziario (profitto non positivo), che risultano leggermente più estese e profonde per alti valori di (p_c, p_s) , piuttosto che per bassi valori di (p_c, p_s) .

Fissato il valore di p_s , il profilo della superficie presenta un massimo per p_c nell'intorno del suo valore medio.

Fissato il valore di p_c , la curva funzione di p_s non presenta massimi significativi al variare di p_s , e mostra una leggera pendenza negativa al crescere di p_s .

Schemi di pricing per l'OTT

Analizziamo ora nel dettaglio l'impatto di alcuni parametri di scenario, cominciando dallo sconto η applicato dall'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* sulle tariffe per i servizi erogati all'OTT.

Nella Figura 18 che segue sono illustrate le superfici di profitto OTT "normalizzato" per valori dello sconto pari a 0% ($\eta = 1$), 25% ($\eta = 0.75$), 50% ($\eta = 0.50$) e infine 75% ($\eta = 0.25$).

Per meglio evidenziare gli effetti dello sconto, in tutti i casi analizzati si è assunta una penetrazione massima ($q = 1$) per il servizio dell'OTT.

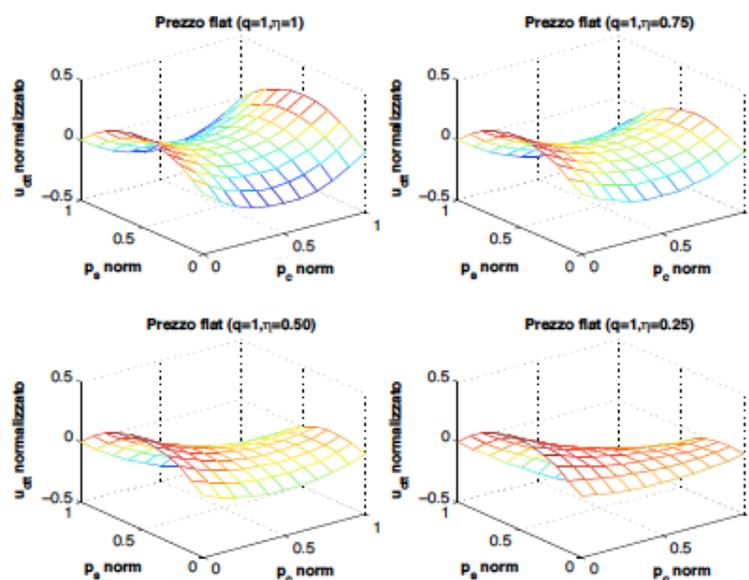


Figura 18 - Profitto normalizzato dell'OTT per diversi valori dello sconto sulle tariffe applicate dallo NSP

Nei diversi casi illustrati, la forma della superficie associata al profitto u_{OTT} "normalizzato" è simile a un paraboloido a sella, con aree di "depressione" (profitti non positivi) più evidenti al decrescere dello sconto applicato dallo NSP (η grande). Senza un buon "contratto di servizio"

(Service Level Agreement, SLA) con lo NSP, raggiungere adeguati livelli di profittabilità per l'OTT può farsi arduo.

Le aree della superficie corrispondenti a valori non negativi del profitto sono quelle che soddisfano la condizione $p_s \geq p_{OTT} = \eta p_c$. La localizzazione di queste aree si modifica al variare della posizione sul piano (p_c, p_s) e la loro estensione mostra una tendenza ad aumentare per valori decrescenti di η , ovvero nel caso di sconto crescente applicato dallo NSP.

Per un dato prezzo della connettività Utente p_c , la curva di profitto funzione di p_s presenta un massimo più evidente, nel caso di sconto piccolo (η grande), per valori di p_c prossimi agli estremi dell'intervallo di variazione; quando lo sconto è forte (η piccolo), il massimo è più pronunciato per valori di p_c prossimi a zero. Evidentemente, se lo sconto applicato dallo NSP diventa significativo, l'OTT ha maggiore libertà nella definizione del prezzo del servizio.

Invece, per un dato prezzo p_s di contenuti / applicazioni, la curva di profitto funzione di p_c presenta due massimi, più evidenti per valori di p_c prossimi agli estremi dell'intervallo di variazione, in particolare quando lo sconto è piccolo (η grande). Ciò significa che, in un ipotetico regime di cooperazione, se l'Operatore di Telecomunicazioni decidesse di usare uno di questi prezzi, permetterebbe all'OTT di massimizzare il suo profitto. Purtroppo, *non c'è evidenza di comportamenti cooperativi nel settore.*

Le aree di rischio per il profitto dell'OTT - quelle in cui il profitto potrebbe risultare non positivo - sono due, fissato p_s , in posizione simmetrica rispetto al piano corrispondente al valor medio di p_s per sconti minori (maggiori valori di η); si riducono ad una soltanto, localizzata a elevati valori di p_c e p_s , man mano che lo sconto cresce (η decresce).

A questo punto, è bene analizzare eventuali impatti sul profitto dell'OTT legati alla penetrazione del servizio sul mercato.

Nella Figura 19 seguente sono illustrate le superfici di profitto "normalizzato" per valori della penetrazione del servizio pari a 100% ($q = 1$), 75% ($q = 0.75$), 50% ($q = 0.50$) e infine 25% ($q = 0.25$).

Per meglio evidenziare gli effetti, in tutti i casi analizzati è stato "sterilizzato" l'effetto dello sconto sulle tariffe applicate all'OTT dall'Operatore di Telecomunicazioni NSP, ponendo $\eta = 1$.

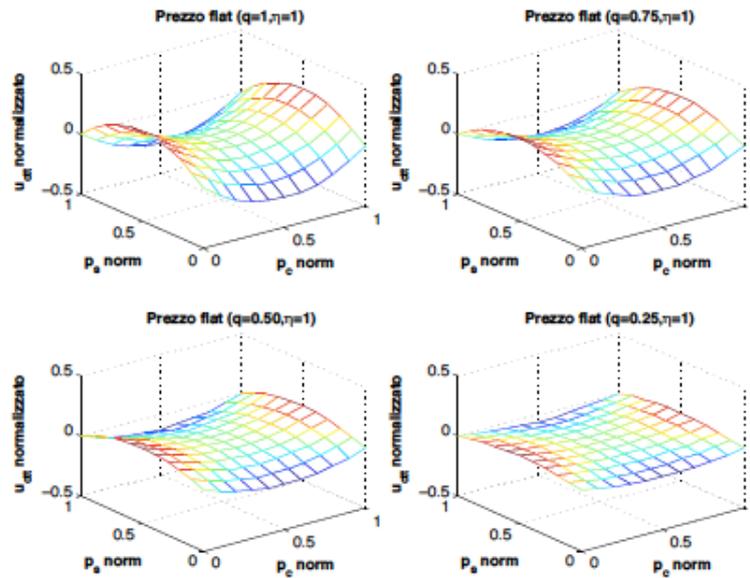


Figura 19 - Profitto normalizzato dell'*OTT* per diversi valori di penetrazione del servizio

Nei quattro casi illustrati, in cui ora si assume che lo *NSP non* applichi sconti sul servizio per l'*OTT* ($\eta = 1$), la forma della superficie che esprime il profitto u_{OTT} corrisponde sempre a quella di un paraboloide a sella, anche al variare della penetrazione del servizio (q). La forma di questa superficie è più "irregolare" (massimi/minimi più pronunciati) in corrispondenza di valori maggiori della penetrazione del servizio presso gli Utenti. La posizione e l'estensione delle aree della superficie corrispondenti a valori positivi del profitto restano sostanzialmente invariate, sia al mutare della posizione sul piano ($p_c p_s$), che al variare della penetrazione del servizio.

Se ora si combinano gli effetti analizzati separatamente mediante i grafici tridimensionali delle Figure 18 e 19, emerge la particolare rilevanza di questo sconto - rispetto a quella dei valori di penetrazione del servizio stesso - ai fini del conseguimento di un profitto positivo u_{OTT} : i punti della superficie a profitto positivo, peraltro, sono quelli che soddisfano la condizione $p_s > p_{OTT} = \eta p_c$.

Fissato il valore di p_c , la curva di profitto funzione di p_s presenta un massimo, più pronunciato per valori di p_c prossimi ai due estremi dell'intervallo di variabilità, sia quando q è grande, che quando q è piccolo. A differenza dei casi precedentemente analizzati con $q = \text{costante}$, $\eta = \text{variabile}$, la posizione dei massimi della curva sembra poco sensibile al variare di p_s .

Per un fissato valore di p_s , invece, la curva di profitto ammette due massimi, più pronunciati per valori di p_c prossimi agli estremi dell'intervallo di variabilità, in particolare quando la penetrazione del servizio è alta (q elevato).

Infine, le aree di rischio per il profitto u_{OTT} , ovvero le porzioni della superficie con valori non positivi, sono due, in posizione simmetrica rispetto al piano corrispondente al valor medio di p_s . A differenza dei risultati riscontrati analizzando gli effetti al variare dello sconto, numero e posizione delle aree di rischio si rivelano poco sensibili alle variazioni dei valori di p_c e p_s , nonché a quelle della penetrazione sul mercato del servizio dell'OTT.

Ad ulteriore conferma di quanto sin qui evidenziato, sono stati prodotti alcuni grafici tridimensionali del profitto riferiti a valori "realistici" dei parametri di sconto e penetrazione del servizio, in modo da poterne valutare l'effetto combinato.

Nella Figura 20 sono illustrate le superfici di profitto "normalizzato" dell'OTT in corrispondenza di valori estremi della penetrazione del servizio: alta penetrazione ($q = 1$) oppure bassa penetrazione ($q = 0.25$). In ciascuno dei due scenari, i diagrammi del profitto sono stati prodotti per altrettanti valori "estremi" dello sconto applicato dallo NSP sui servizi per l'OTT: sconto nullo ($\eta = 1$) oppure sconto del 75% ($\eta = 0.25$)

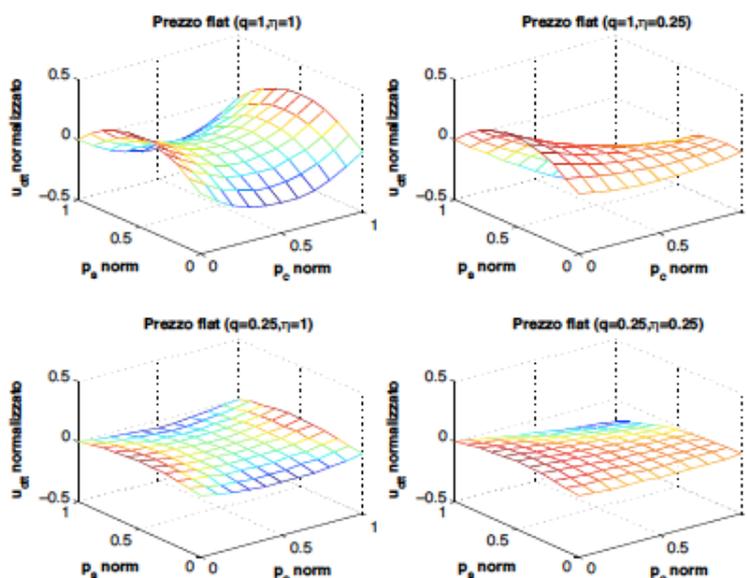


Figura 20 - Profitto normalizzato dell'OTT per valori "realistici" della penetrazione del servizio e dello sconto sulle tariffe applicate dallo NSP

I principali effetti emersi sono i seguenti.

Scenario ($q=1, \eta=1$ oppure $\eta=0.25$) "alta penetrazione servizio" (Figura 20, in alto):

quando lo sconto applicato dallo *NSP* sulla tariffa imposta all'*OTT* per l'Accesso in rete passa da 0 ($\eta=1$) al 75% ($\eta=0.25$), la forma della superficie di profitto, inizialmente piuttosto irregolare e con massimo pronunciato per p_c fissato, subisce modificazioni significative, mostrando un andamento più regolare e una riduzione dell'estensione delle aree di rischio finanziario (profitto non positivo), che passano da due a una sola, localizzata ad alti valori di p_c, p_s .

Le opportunità per l'*OTT* di fissare il prezzo p_s del servizio sono maggiori al crescere dello sconto applicato dallo *NSP*.

Scenario ($q=0.25, \eta=1$ oppure $\eta=0.25$) "bassa penetrazione servizio" (Figura 20, in basso):

quando lo sconto applicato dallo *NSP* sulla tariffa imposta all'*OTT* per l'Accesso in rete passa da 0 ($\eta=1$) al 75% ($\eta=0.25$), la forma della superficie di profitto, inizialmente piuttosto piatta e regolare, subisce modificazioni poco rilevanti - se si eccettua il fatto che anche in questo caso le aree di rischio finanziario (profitto non positivo) si riducono da due a una sola, localizzata ad alti valori di p_s . Nello scenario di bassa penetrazione del servizio *OTT*, gli impatti di variazioni sulle tariffe applicate all'*OTT* dallo *NSP* sono meno rilevanti, ai fini di un profitto positivo, anche se comunque non nulli.

Schemi di pricing per l'Operatore di Comunicazione

Analizziamo ora nel dettaglio l'impatto sul profitto dell'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* degli stessi parametri di scenario, ovvero la penetrazione del servizio *OTT* e lo sconto che lo *NSP* applica sulle tariffe *OTT*.

L'espressione del profitto *NSP* dipende dal prodotto delle variabili q, η , più che dall'effetto dei loro singoli valori.

La Figura 21 illustra il grafico tridimensionale del profitto dello *NSP* "normalizzato" per i seguenti valori del prodotto $q \eta$: 1.00, 0.75, 0.50, 0.25.

Ricordiamo che il parametro q è *direttamente* proporzionale alla penetrazione sul mercato del servizio *OTT*, mentre il valore di η è *inversamente* proporzionale allo sconto applicato dallo *NSP*.

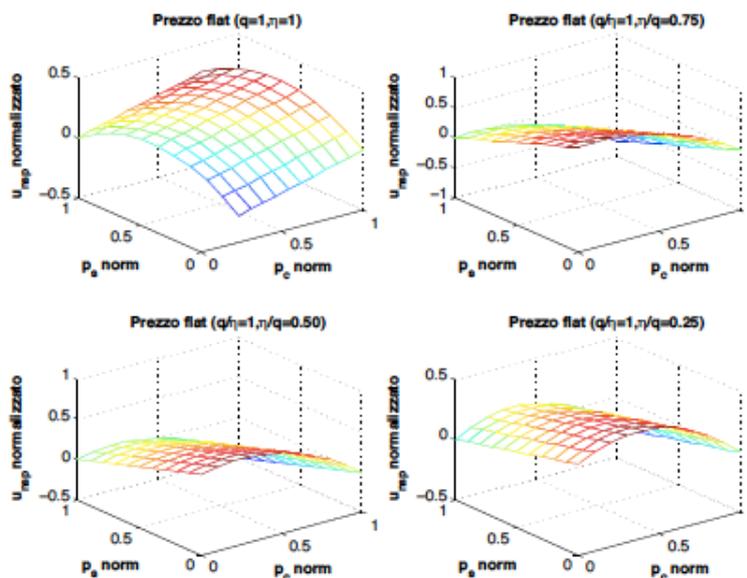


Figura 21 - Profitto normalizzato dell'Operatore di Telecomunicazioni NSP per valori diversi della penetrazione del servizio OTT e dello sconto sul prezzo della connettività applicato all'OTT

I risultati illustrati nei diagrammi mostrano che, per valori del prodotto $q \eta$ prossimi a 1, la superficie "cilindrica" che rappresenta il profitto dello NSP ha un asse di simmetria longitudinale piuttosto inclinato rispetto al piano (orizzontale) dei prezzi: situazione che corrisponde a opportunità di profitto per lo NSP maggiori, accompagnate però da un livello del rischio d'impresa altrettanto significativo, in particolare per valori bassi di p_c , perchè il profitto dello NSP, in questo intervallo di valori del prezzo della connessione, è direttamente proporzionale al prezzo della stessa.

I diagrammi corrispondenti a valori del prodotto $q \eta$ pari a 0.75 e 0.50 sono molto simili tra loro, e corrispondono a situazioni "più equilibrate" per lo NSP, in termini di profitto e rischio, come mostra la superficie di profitto, con asse di simmetria longitudinale meno inclinato. In questi casi, l'area di rischio finanziario, localizzata ad alti valori dei prezzi, risulta più "profonda" di quanto non accada negli altri scenari considerati.

L'andamento del profitto dello NSP cambia tuttavia quando il prodotto $q \eta$ assume il valore 0.25. In questo caso l'asse longitudinale del cilindro è parallelo al piano dei prezzi, il profitto presenta un massimo evidente intorno al valor medio di p_c , fissato p_s , e in media il profitto dello NSP è maggiore, se confrontato con le altre situazioni. Considerato che in regime di non cooperazione l'Operatore di Telecomunicazioni tenderà a fissare un prezzo p_c prossimo al valore ottimo, in questo scenario anche l'OTT avrà opportunità di raggiungere buoni livelli di redditività, soprattutto fissando prezzi del servizio contenuti.

Producendo anche per lo *NSP* un diagramma di profitto che si riferisca a valori "realistici" dei parametri di sconto e penetrazione del servizio, per meglio valutare l'effetto combinato, si ottiene quanto già rappresentato nella precedente Figura 17, dove la superficie di profitto è stata generata con sconto applicato dallo *NSP* pari al 25% ($\eta = 0.75$) e penetrazione del servizio *OTT* uguale al 25% ($q = 0.25$).

Il grafico suggerisce allo *NSP* di fissare il prezzo ottimo (normalizzato) del servizio di Accesso alla rete al valore $p_c^*/\sqrt{x} = 1/2$.

Si noti l'area di rischio finanziario localizzata ad alti valori di p_c , che diventa più "profonda" qualora la competizione tra operatori dovesse portare l'*OTT* a rispondere a una eventuale strategia di prezzi *premium* dello *NSP* con una strategia dello stesso tipo.

Equilibrio di Stackelberg

Poichè nelle analisi effettuate sinora si è assunto che il prezzo della connessione p_c sia la variabile economica definita *per prima*, da parte dell'Operatore di Telecomunicazioni *NSP*; e poichè tale circostanza delinea una "sequenzialità" nelle modalità con cui le variabili economiche del sistema sono definite dallo *NSP* e dall'*OTT*, uno dei quali può "studiare le mosse" dell'altro prima di scegliere il prezzo del proprio servizio; si può allora affermare che la competizione di mercato tra questi due fornitori sia inquadrabile con un gioco di tipo Stackelberg (*leader-follower game*).

In questa tipologia di gioco un giocatore si impegna a eseguire una certa azione, assumendo che gli altri giocatori si adattino alla sua scelta. Tale giocatore è definito *leader* del gioco, mentre gli altri costituiscono i *followers*.

Il giocatore che "agisce per primo" ha la possibilità di anticipare la reazione di chi lo segue nell'agire, e prendere la migliore decisione sfruttando questo vantaggio. Il profilo d'azione risultante si chiama *equilibrio di Stackelberg*.

I giochi Stackelberg si impongono all'attenzione in modo naturale quando un *decision maker* (in questo caso lo *NSP*) voglia ottimizzare una funzione di utilità (profitto, *social welfare*, etc.) agendo su parametri come ad esempio il prezzo, e questa utilità dipende dalla reazione di altri giocatori che perseguono i loro obiettivi.

Il *leader* deve identificare i valori ottimi dei parametri che producano il miglior risultato (profitto) atteso, sapendo che gli altri giocatori si adatteranno a questi parametri (agendo a loro volta in modo non cooperativo).

Analizziamo allora con questo approccio il sistema in cui agiscono gli Utenti, lo *NSP* e l'*OTT*, nello scenario di distribuzione dei servizi "tradizionale" (senza *CDN*).

Fissato il prezzo della connessione p_c da parte dello *NSP*, che è il *leader* del gioco, il *follower*, ovvero l'*OTT*, cercherà di massimizzare il suo profitto, che, normalizzato è espresso dalla formula precedentemente ricavata

$$\frac{u_{OTT}(p_s, p_{OTT})}{N\sqrt{x}} = q \left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{x}} - \frac{p_s}{\sqrt{x}} \right) \left(\frac{p_s}{\sqrt{x}} - \frac{p_{OTT}}{\sqrt{x}} \right) = q \left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{x}} - \frac{p_s}{\sqrt{x}} \right) \left(\frac{p_s}{\sqrt{x}} - \eta \frac{p_c}{\sqrt{x}} \right), \quad p_{OTT} = \eta p_c$$

Fissato p_c , il prezzo ottimo normalizzato p_s^*/\sqrt{x} è determinato dalla condizione di massimo

$$\frac{\partial(u_{OTT}/(N\sqrt{x}))}{\partial(p_s/\sqrt{x})} = q \left(1 - \theta \frac{p_c}{\sqrt{x}} - 2 \frac{p_s}{\sqrt{x}} \right) = 0, \quad \theta := 1 - \eta$$

Da questa equazione si ottiene dunque il prezzo ottimo normalizzato per il servizio dell'*OTT*

$$\frac{p_s^*}{\sqrt{x}} = \frac{1}{2} - \bar{\theta} \frac{p_c}{\sqrt{x}}, \quad \bar{\theta} := \frac{\theta}{2} = \frac{1 - \eta}{2}$$

Si noti come tale prezzo debba decrescere al crescere di p_c , con tasso di variazione $\bar{\theta}$ tanto più pronunciato quanto maggiore è lo sconto sulle tariffe applicato all'*OTT* dallo *NSP* (ovvero quanto minore è η). Ciò significa che l'*OTT* può massimizzare il profitto senza dover ricorrere all'applicazione di tariffe *premium* per i propri clienti, beneficiando di una significativa riduzione dei costi derivante dagli sconti sulle tariffe applicate dallo *NSP*. Infatti, in assenza di sconto ($\eta = 1$) il profitto dell'*OTT* è nullo, ossia il prezzo della connettività praticato dallo *NSP* è "eccessivo", lo *NSP* assorbe tutte le risorse finanziarie disponibili e quindi l'equilibrio del sistema *non è sostenibile*.

Se dunque il *follower* adotta il prezzo ottimo p_s^* , è lecito chiedersi quale sia il profitto del *leader* e, in particolare, quale dovrebbe essere il prezzo p_c^* che lo *NSP* dovrebbe praticare per fornire il servizio di connessione agli Utenti.

Ricordando che il profitto normalizzato dello *NSP* è dato dalla formula

$$\frac{u_{NSP}(p_c, p_s)}{N\sqrt{x}} = \frac{p_c}{\sqrt{x}} \left((1 + \mu) \left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{x}} \right) - \mu \frac{p_s}{\sqrt{x}} \right), \quad \mu := q\eta$$

sostituendo in essa il valore prezzo ottimo p_s^* sopra ricavato si ottiene

$$\begin{aligned}\frac{u_{NSP}(p_c, p_s^*)}{N\sqrt{\bar{x}}} &= \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \left((1 + \mu) \left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \right) - \mu \left(\frac{1}{2} - \bar{\theta} \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \right) \right) = \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \left(1 + \frac{\mu}{2} - (1 + \mu\nu) \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \right) \\ &= \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \left(\varphi - \psi \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \right)\end{aligned}$$

avendo posto

$$\nu := 1 - \bar{\theta} = \frac{1 + \eta}{2}$$

$$\varphi := 1 + \frac{\mu}{2}$$

$$\psi := 1 + \mu\nu$$

La condizione di massimo

$$\frac{\partial(u_{NSP}/(N\sqrt{\bar{x}}))}{\partial(p_c/\sqrt{\bar{x}})} = \varphi - \psi \left(\frac{p_c^2}{\bar{x}} + \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}} \right) = 0,$$

fornisce l'equazione (di secondo grado) per il prezzo ottimo p_c^*

$$\frac{(p_c^*)^2}{\bar{x}} + \frac{p_c^*}{\sqrt{\bar{x}}} - \frac{\varphi}{\psi} = 0, \quad \frac{3}{5} \leq \frac{\varphi}{\psi} \leq 1$$

Una soltanto delle due soluzioni (reali distinte) di questa equazione è accettabile (l'altra corrisponde a un valore negativo del prezzo), e fornisce

$$\frac{p_c^*}{\sqrt{\bar{x}}} = \frac{1}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\varphi}{\psi} \right)} \right)$$

Poiché il prezzo $\frac{p_c^*}{\sqrt{\bar{x}}}$ deve essere minore o eguale a 1, tale condizione viene soddisfatta se

$$0 \leq \frac{\varphi}{\psi} \leq 2$$

Dato che il rapporto $\frac{\varphi}{\psi}$ verifica certamente questa condizione, per un assegnato valore del prodotto tra la penetrazione q del servizio *OTT* e il fattore di sconto η applicato dallo *NSP* all'*OTT*, ossia per $q\eta \in [0,1]$, è evidente che per valori dei parametri di scenario $q\eta$ appartenenti all'intervallo indicato il prezzo ottimo normalizzato $\frac{p_c^*}{\sqrt{x}}$ per la connessione esiste, ma non è unico, essendo incluso nell'intervallo di valori compresi tra 0 e 21/50 (≈ 0.42).

Si noti come il massimo tra i valori ammessi per il prezzo ottimo normalizzato $\frac{p_c^*}{\sqrt{x}}$ sia prossimo al valor medio (0.5) dell'intervallo di variabilità del prezzo normalizzato per la connessione, circostanza confermata dalle analisi dei grafici del profitto *NSP* eseguite in precedenza. Se lo *NSP* agisce in modo non cooperativo o senza opportuna indicazione dell'Autorità, tenderà a fissare il prezzo che garantisce il suo massimo profitto (ossia 21/50) e ciò significa che il profitto dell'*OTT* sarà ridotto di conseguenza al valore minimo ammissibile. L'azione dell'Autorità in questo caso si tradurrebbe in una imposizione del fattore di sconto che lo *NSP* dovrebbe praticare all'*OTT*.

I servizi nel modello a quattro agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione, *CDN* e *OTT*

Analizziamo ora il modello a quattro agenti, per il quale si assume un diverso scenario, ovverosia che la distribuzione del servizio *OTT* sia ottimizzata grazie alle funzionalità di una *CDN*. Tutti gli N utenti del sistema possono essere raggiunti dal servizio *OTT*, con appropriati livelli di qualità (*QoS*) del servizio.

Come nelle nel caso del modello a tre agenti, p_c e p_s indicheranno i prezzi *flat* cui sono offerti agli Utenti connettività e contenuti / applicazioni, rispettivamente dall'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* e dall'*OTT*.

Inoltre, nello scenario corrente, p_{ott} e p_{cdn} indicheranno le tariffe applicate dall'Operatore di Telecomunicazioni per i servizi erogati all'*OTT* e alla *CDN* rispettivamente. In queste tariffe, per l'assunzione fatta di *flat pricing*, trascureremo eventuali componenti variabili dipendenti dal traffico, i cui impatti saranno valutati, in un caso di particolare rilevanza, nel capitolo successivo.

Ammetteremo tuttavia la possibilità, per l'*OTT* e la *CDN*, di negoziare con l'Operatore di Telecomunicazioni sconti sulle tariffe di mercato della connettività, come accade per la clientela *business*, così come ci riserveremo la possibilità di introdurre parametri di scenario appropriati per accrescere la verosimiglianza del modello di simulazione rispetto ai casi reali.

La situazione descritta corrisponde precisamente a quella dello schema nella Figura 11 della sezione *Scenari e Assunzioni* (capitolo precedente), riportato qui di seguito come riferimento per la successiva analisi.

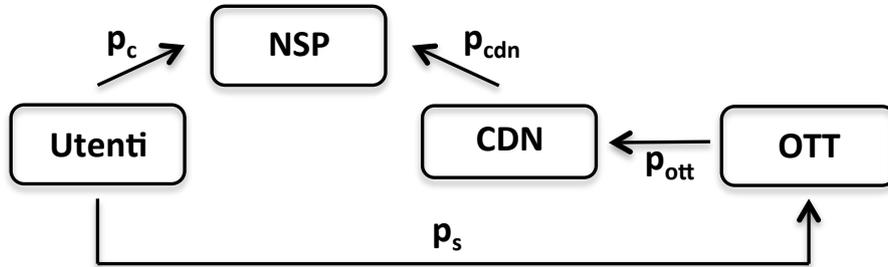


Figura 22 - Gli attori nel modello a quattro agenti (scenario con *CDN*) e le relazioni di prezzo nelle transazioni

Pertanto, le espressioni di ricavi R , costi C e profitto u per l'*OTT* saranno date rispettivamente da:

$$R_{OTT}(p_s, v) = \int_{v_2}^1 p_s N dv$$

$$C_{OTT}(p_{OTT}, v) = \int_{v_2}^1 p_{OTT} N dv,$$

$$u_{ott}(p_s, p_{ott}, v) = R_{ott} - C_{ott} = \int_{v_2}^1 p_s N dv - \int_{v_2}^1 p_{OTT} N dv$$

Si noti come nello scenario di distribuzione servizi evoluta (con *CDN*) in linea teorica tutti gli N utenti del sistema con *budget* sufficiente per l'acquisto del servizio a prezzo p_s potranno ricevere il servizio con il livello di qualità (*QoS*) atteso. Ecco dunque l'effetto della *CDN*, che consente all'*OTT* di allargare il mercato potenziale.

Calcolando gli integrali e sostituendo i risultati nell'espressione del profitto u , si ottiene:

$$u_{ott}(p_s, p_{ott}) = N(1 - v_2)(p_s - p_{ott})$$

dove, assumendo che l'*OTT* abbia negoziato con lo *NSP* la connettività a prezzo scontato, si avrà

$$p_{ott}(p_c) = \gamma p_c, \quad \gamma < 1$$

$$0 < p_{ott} < p_s$$

In modo analogo, le espressioni di ricavi R , costi C e profitto u per la *CDN* saranno date rispettivamente da:

$$R_{cdn}(p_{ott}, v) = \int_{v_2}^1 p_{OTT} N dv$$

$$C_{cdn}(p_{cdn}, v) = \int_{v_2}^1 p_{cdn} N dv, \quad p_{cdn} > p_{ott}$$

$$u_{cdn}(p_{OTT}, p_{cdn}, v) = R_{cdn} - C_{cdn} = N \left(\int_{v_2}^1 p_{OTT} dv - \int_{v_2}^1 p_{cdn} dv \right)$$

Calcolando anche per la *CDN* gli integrali e sostituendo i risultati trovati nell'espressione del profitto, si ottiene:

$$u_{cdn}(p_{OTT}, p_{cdn}) = N(1 - v_2)(p_{ott} - p_{cdn}), \quad p_{cdn} < p_{ott}, \quad p_{ott} > 0$$

Anche per la *CDN* è lecito assumere che il Fornitore abbia negoziato un prezzo scontato per la connettività con l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP*. Perciò sarà possibile scrivere

$$p_{cdn}(p_c) = \beta p_c, \quad \beta < 1$$

essendo

$$p_{ott}(p_c) = \gamma p_c, \quad \beta < \gamma < 1$$

con le condizioni

$$0 < p_{cdn} < p_{ott} < p_s$$

Per l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP*, nell'ipotesi di trascurare i costi in conto capitale e operativi, le espressioni di ricavi R e profitti u saranno rispettivamente

$$R_{nsp}(p_c, p_{cdn}, v) = \int_{v_1}^1 p_c N dv + \int_{v_2}^1 p_{cdn} N dv$$

$$u_{cdn}(p_c, p_{cdn}, v) = R_{nsp}(p_c, p_{cdn}, v)$$

Con semplici calcoli si ottiene

$$u_{cdn}(p_c, p_{cdn}, v) = Np_c(1 - v_1) + Np_{cdn}(1 - v_2)$$

fermo restando, per quanto osservato sopra, che

$$p_{cdn}(p_c) = \beta p_c, \quad \beta < 1$$

Ora, ricordando che l'espressione del *social welfare* del sistema è data dalla formula

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

un grafico tridimensionale del *welfare* e dei profitti ricavati per i tre Fornitori, tutti normalizzati al valore $N\sqrt{x}$, è incluso nella Figura 23 seguente:

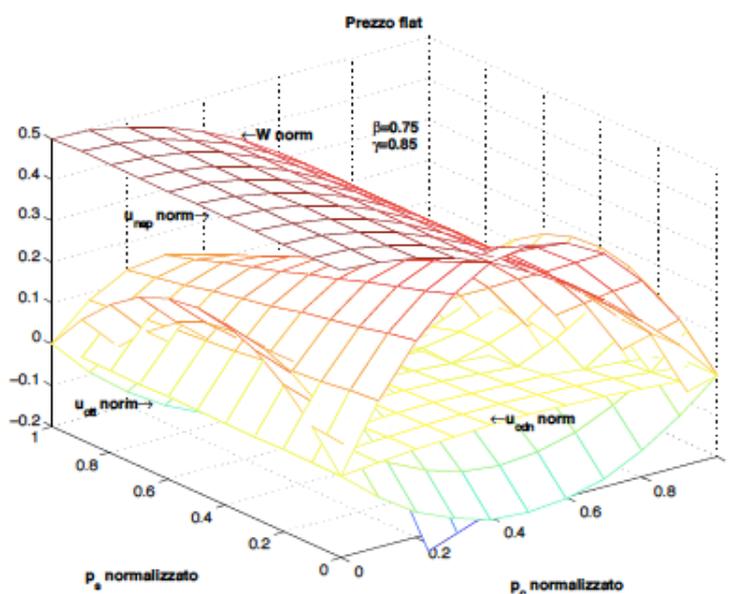


Figura 23 - Profitto normalizzato dei Fornitori e *social welfare* nel modello a quattro agenti

Nella figura si nota che:

- il *social welfare* è rappresentato da una porzione di superficie cilindrica, regolare, a valori positivi e pendenza costante al variare di p_s (per p_c fissato), e andamento regolare decrescente al crescere di p_c (con p_s fissato);
- il profitto u_{ott} del Fornitore di Contenuti / Applicazioni *OTT* ha forma simile a quella di un paraboloide a sella, con due aree di rischio finanziario (profitto non positivo), due massimi per un dato valore di p_s , un massimo per un valore fissato di p_c ;
- il profitto u_{cdn} del Fornitore di Servizi *CDN* è rappresentato da una superficie regolare e piana, ovvero senza massimi evidenti, e con una sola area di rischio finanziario (profitto non positivo);
- il profitto u_{nsp} dell'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* è una superficie di forma cilindrica, con un massimo per un valore fissato di p_c e un massimo per un dato valore di p_s , e con un'area soltanto di rischio finanziario (profitto non positivo).

Schemi di pricing per Operatore di Comunicazione, *CDN* e *OTT*

Effettuando una valutazione dei possibili schemi di pricing per i Fornitori inclusi nel modello a quattro agenti, si possono distinguere due casi:

Caso 1: sconti "realistici" ($\leq 25\%$) sulle tariffe dei servizi business (Figura 24)

Gli sconti applicati in questo caso rientrano nelle logiche di mercato *reali*, con riferimento alle condizioni applicate dall'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* alla clientela *business*.

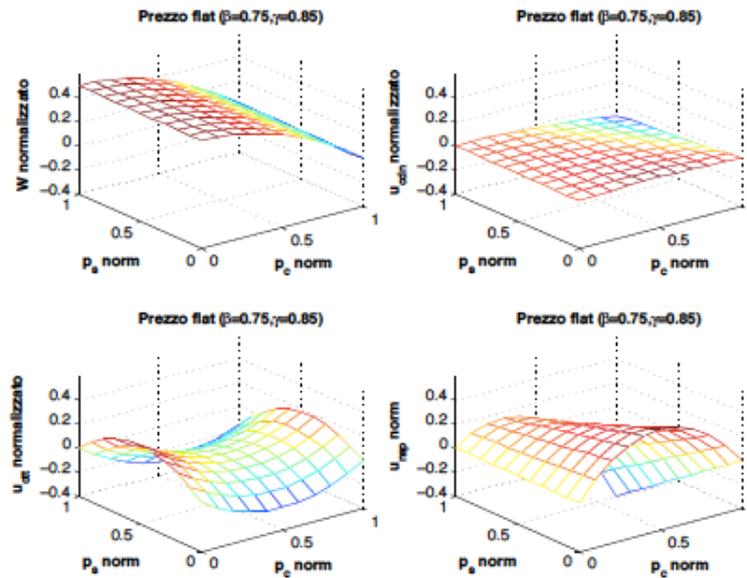


Figura 24 - Social welfare e profitto normalizzato dei Fornitori in presenza di "sconti realistici" sulla connettività per CDN e OTT

Profitto u_{ott} del Fornitore di Contenuti / Applicazioni OTT:

- la forma della superficie di profitto è simile ad un paraboloido a sella;
- fissato p_c la curva di profitto ammette un massimo, più pronunciato per valori di p_c prossimi agli estremi dell'intervallo di variabilità;
- fissato p_c , il massimo della curva di profitto (funzione di p_s) si ottiene in corrispondenza del valor medio di p_s ;
- vi è un'area di rischio finanziario (profitto non positivo) non solo per bassi, ma anche per alti valori di p_s . Il rischio è tanto maggiore quanto più p_c è prossimo al suo valor medio;
- fissato p_s , la curva di profitto ammette invece due massimi, in corrispondenza degli estremi dell'intervallo di variabilità di p_c , con il rischio finanziario più elevato per valori di p_c attorno al suo valore medio.

Profitto u_{cdn} del Fornitore di Servizi CDN:

- la forma della superficie di profitto è regolare (piana);
- il profitto è scarso (se non nullo) in qualsiasi punto del piano (p_c, p_s) , e diventa negativo per valori (p_c, p_s) circa superiori ai valori medi dei rispettivi intervalli di variabilità;
- l'area di rischio finanziario è localizzata ad alti valori di (p_c, p_s) , quando la frazione di welfare disponibile per il Fornitore di servizi CDN si riduce drasticamente, essendo

stato, il *welfare*, "catturato" quasi completamente dagli altri Fornitori con strategie "aggressive" di *pricing* dei servizi.

Profitto u_{nsp} dell'Operatore di Telecomunicazioni NSP:

- la forma della superficie di profitto è simile a una porzione di cilindro;
- fissato p_c , la curva di profitto cresce con andamento regolare al decrescere di p_s , presentando un massimo per $p_s = 0$, fatta eccezione per valori di p_c prossimi allo zero, in cui la curva di profitto resta circa costante;
- l'area di rischio finanziario si localizza anche per questo Fornitore ad elevati valori di (p_c, p_s) , con la superficie di profitto che diventa negativa per p_c e p_s superiori ad un valore limite, pari a circa 3/4 del loro intervallo di variabilità;
- fissato p_s , la curva di profitto presenta un solo massimo, localizzato a valori di p_c prossimi al valor medio dell'intervallo di variabilità.

Caso 2: forti sconti ($\geq 75\%$) sulle tariffe dei servizi business (Figura 25)

Si osservi che in questo caso lo NSP basa i suoi ricavi principalmente sulla vendita del servizio di connettività agli Utenti, "favorendo" l'OTT con tariffe molto basse. In un contesto reale questa situazione potrebbe essere possibile soltanto con l'intervento dell'Autorità garante [Odlyzko 2009]. Solo l'Autorità potrebbe imporre allo NSP sconti così elevati da applicare alla clientela *business* ed è ragionevole attendersi che lo NSP sarebbe indotto a rivalersi sugli Utenti aumentando il prezzo di mercato delle connessioni.

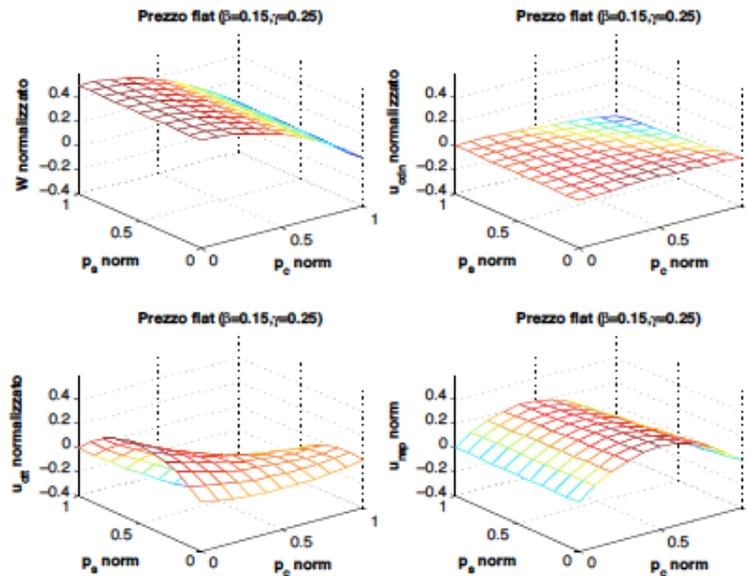


Figura 25 - Social welfare e profitto normalizzato dei Fornitori in presenza di "forti sconti" sulla connettività per CDN e OTT

Profitto u_{ott} del Fornitore di Contenuti / Applicazioni OTT:

- Rispetto al *Caso 1* con sconti sui servizi tipici di una "normale" situazione di mercato, il profitto u_{ott} conserva la forma di un paraboloide a sella. Tuttavia, l'impatto degli sconti più elevati è evidente, con la superficie di profitto che presenta forma più regolare (massimi meno pronunciati), con aree di rischio finanziario che si riducono da due a una sola, e con le opportunità di maggiori profitti per l'OTT che diminuiscono proporzionalmente. Questa riduzione delle possibilità di profitto diventa evidente per valori di p_c prossimi agli estremi dell'intervallo di variabilità.

Profitto u_{cdn} del Fornitore di Servizi CDN:

- Rispetto al *Caso 1*, non vi sono variazioni significative della superficie u_{cdn} che rappresenta il profitto: mantiene infatti la sua forma regolare e piana, con area di rischio finanziario di limitata estensione e posizione invariata rispetto al caso precedente.

Profitto u_{nsp} dell'Operatore di Telecomunicazioni NSP:

- Rispetto al *Caso 1*, le opportunità di maggiori guadagni per il Fornitore aumentano: la superficie mantiene la forma simile a una porzione di cilindro, tuttavia assume un profilo più regolare al variare di p_c , fissato p_s ; presenta inoltre un'area di rischio finanziario meno pronunciata e di minore estensione, e mostra infine una minore "sensibilità" della posizione del massimo (per un valore fissato di p_c) alle variazioni di p_s .

Modelli per il *pricing* dei servizi con tariffa a volume

Le tariffe "a volume" sono di particolare rilevanza nell'Economia delle reti mobili. Nel contesto dell'offerta di servizi su rete fissa le tariffe a volume sono invece poco diffuse, se non addirittura assenti.

Nel caso di distribuzione "tradizionale" dei servizi su rete fissa - distribuzione effettuata senza ricorrere alle funzionalità tipiche delle *Content Delivery Networks (CDN)* - uno scenario di interesse, per la sua somiglianza con situazioni reali, è quello di tariffe *flat* applicate ai servizi per il mercato degli Utenti e tariffe *volume-based* per la clientela *business* dell'Operatore di Telecomunicazioni (nei modelli qui considerati, *OTT* e *CDN*).

Analizzando in particolare questo scenario con il modello a tre agenti, si possono evidenziare aspetti di notevole rilevanza sul ruolo della innovazione tecnologica.

Un caso ancor più generale e interessante è quello in cui sono applicate tariffe a volume per la clientela *business* dello *NSP* in uno scenario tecnologicamente più avanzato di distribuzione dei servizi attraverso una *CDN*. Precisamente:

- all'*OTT* è applicata una tariffa con una componente variabile a causa della non predicibilità del traffico generato dalla *CDN*;
- alla *CDN*, a sua volta, è richiesto dallo *NSP* il pagamento di un prezzo *extra*, proprio per l'aleatorietà del volume di traffico anzidetto.

Nel seguito, saranno analizzati entrambi i casi descritti, utilizzando i modelli a tre e quattro agenti rispettivamente, per la loro completezza e rilevanza in rapporto alle attuali architetture di servizio su rete commerciale.

I servizi nel modello a tre agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione e OTT

In questo scenario, in cui la distribuzione del servizio *OTT* ha luogo senza il ricorso a una *CDN*, sarà

$$M = qN < N \text{ (ovvero } q < 1)$$

poichè, di tutti gli N Utenti del sistema, solo una frazione M di Utenti connessi alla rete dello NSP potrà usufruire del servizio offerto dall' OTT avendo garantiti i requisiti di qualità del servizio (QoS). Tra questi M Utenti, soltanto una quota parte avrà *budget* sufficiente per acquistare il servizio OTT a prezzo p_s . Si noti che, in situazioni reali, può essere $M \ll N$.

Assumendo che lo NSP abbia limitato il traffico dell'Utente al valore massimo $x(v) = \bar{x}$, dalla condizione di beneficio netto percepito ≥ 0 al momento dell'acquisto, si possono determinare i valori minimi del parametro v per i segmenti d'utenza con *budget* sufficiente per l'acquisto, rispettivamente, del solo servizio di connettività oppure di connettività e servizio dell' OTT .

Detti v_1 e v_2 questi valori minimi, e con riferimento alla espressione della *willingness to pay* dell'Utente

$$V_u(x, \omega; v) = v \left(\sqrt{\bar{x}} + \omega \right)$$

dove ω è un "parametro di scenario operativo" che figura nel *budget (extra, rispetto a quello disponibile per l'acquisto della connettività)* che gli Utenti sono disposti a spendere per l'acquisto del servizio OTT a prezzo p_s , applicando il principio di Wardrop, ovvero la condizione necessaria per l'acquisto $u(x, \omega; p_c, p_s; v) \geq 0$, si otterranno i due valori

$$v_1 := \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \quad \text{e} \quad v_2 := \frac{p_c + p_s}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)}$$

Pertanto, le espressioni del profitto dei Fornitori presenti nel modello, scritte nella forma "quasi lineare" come differenza tra ricavi e costi, e comprensive dei termini che rappresentano anche la loro relazione reciproca $B2B$, saranno date rispettivamente da

$$u_{nsp}(x, y; p_c, p_{ott}; v) = \int_{v_1}^1 p_c N dv + \int_{v_2}^1 (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x_0)) M dv, \quad C_{nsp} = 0$$

$$u_{ott}(x, y; p_s, p_{ott}; v) = \int_{v_2}^1 p_s M dv - \int_{v_2}^1 (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x_0)) M dv$$

Si noti che nell'espressione del profitto dell'Operatore di Telecomunicazioni NSP è stato omesso il termine relativo ai costi ($C_{nsp} = 0$), avendo fatto l'ipotesi che gli investimenti infrastrutturali ($CAPEX$) siano stati già ammortizzati e che i costi operativi ($OPEX$) di una connessione siano, come effettivamente è in realtà, molto minori dei ricavi da servizio (si veda la sezione *Scenari e Assunzioni*).

L'espressione del *social welfare* del sistema, inteso come aggregazione di tutte le funzioni di utilità degli *stakeholder* nel modello, e calcolabile, con funzioni di utilità quasi-lineari, ovvero nella forma $U_i = V_i - p_i$, in modo indipendente dai trasferimenti monetari che hanno luogo nel sistema, sarà data da

$$W = \int_0^1 (v\sqrt{x(v)} + w_s) N dv$$

dove w_s rappresenta la *willingness to pay* dell'Utente per il servizio *OTT*, ovvero il valore attribuito a quel servizio.

Con semplici calcoli, profitti dei Fornitori e *welfare* divengono

$$u_{nsp}(x, y; p_c, p_{ott}; v) = N p_c (1 - v_1) + M (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x_0))(1 - v_2)$$

$$u_{ott}(x, y; p_s, p_{ott}; v) = M (1 - v_2) (p_s - (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x_0)))$$

$$W = \int_{v_1}^1 v\sqrt{\bar{x}}(1 + \omega) N dv = N \frac{\sqrt{\bar{x}}}{2} (1 + \omega)(1 - v_1^2), \quad w_s = \omega\sqrt{\bar{x}}, \quad \omega \geq 0$$

Poichè è ragionevole pensare che l'*OTT* avrà negoziato con l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* una riduzione di prezzo per i servizi di rete ricevuti, è lecito assumere in queste formule

$$p_{ott} = \psi p_c, \quad \psi < 1$$

Inoltre, il tasso di variazione θ_{ott} del traffico "a volume" indotto dal servizio dell'*OTT* si potrà esprimere come parametro adimensionale $\bar{\theta}_{ott}$, ponendo

$$\theta_{ott} = \bar{\theta}_{ott} \frac{p_c}{\bar{x}}$$

Si noti che il traffico y indotto dal servizio *OTT* rappresenterà una frazione del traffico totale per connessione, ovvero avremo

$$y = \alpha_s \bar{x}, \quad \alpha_s < 1$$

con il coefficiente di proporzionalità α_s che dipende, in particolare, dallo specifico servizio s considerato.

Esprimendo infine la soglia di traffico a volume x_0 come frazione del traffico massimo per connessione, ovvero ponendo

$$x_0 = \rho \bar{x}, \quad \rho < 1$$

si ottiene la completa definizione dello "scenario operativo" di riferimento, espresso mediante i valori dei quattro parametri introdotti $\psi, \bar{\theta}_{ott}, \alpha_s, \rho$.

Prima di proseguire si osservi che l'introduzione del coefficiente α_s tiene conto implicitamente di un importante aspetto relativo alle eventuali tecnologie di compressione utilizzate dall'*OTT* per trasferire i dati relativi al servizio all'interno della rete dello *NSP* (ovvero della *CDN*, nello scenario che sarà analizzato successivamente). In particolare, facendo in modo che sia $\alpha_s < \rho$, l'*OTT* riesce a pagare il servizio di trasporto (allo *NSP* o alla *CDN*) a tariffa *flat*, ossia senza incorrere nella tariffa a volume che verrebbe applicata qualora il traffico prodotto superasse la soglia prevista.

Fissati valori specifici per i parametri di scenario, dunque, le espressioni del profitto dei Fornitori sopra ricavate risultano uguali a

$$u_{nsp} = N p_c \left(\left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \right) + q \left(1 - \frac{p_c + p_s}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \right) (\psi + \bar{\theta}_{ott}(\alpha_s - \varrho)) \right)$$

$$u_{ott} = q N \left(1 - \frac{p_c + p_s}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \right) (p_s - p_c (\psi + \bar{\theta}_{ott}(\alpha_s - \varrho)))$$

che riscritte in forma normalizzata ed espresse in funzioni di variabili prezzo normalizzate diventano

$$\frac{u_{nsp}}{N\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} = \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \left(\left(1 - \frac{p_c}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \right) + q \left(1 - \frac{p_c + p_s}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \right) (\psi + \bar{\theta}_{ott}(\alpha_s - \varrho)) \right)$$

$$\frac{u_{ott}}{N\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} = q \left(1 - \frac{p_c + p_s}{\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} \right) \left(\frac{p_s}{N\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)} - \frac{p_c}{N\sqrt{\bar{x}}(1+\omega)_c} (\psi + \bar{\theta}_{ott}(\alpha_s - \varrho)) \right)$$

dove $\frac{p_c}{\sqrt{x}(1+\omega)}$ e $\frac{p_s}{\sqrt{x}(1+\omega)}$ rappresentano le variabili incognite da determinare, fissato lo specifico scenario di mercato, descritto come detto dai valori dei parametri $\psi, \bar{\theta}_{ott}, \alpha_s, \rho$ inclusi nelle equazioni precedenti.

In un regime di non cooperazione tra fornitori, quale è quello che si riscontra nelle realtà di mercato [Baland 2006], l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* fissa il prezzo della connettività p_c , seguendo il criterio di massimizzazione dei propri ricavi (coincidenti col profitto u_{nsp} , essendo stati trascurati per ipotesi i costi sostenuti, come descritto nella sezione *Scenari e Assunzioni*).

Il Fornitore di Contenuti / Applicazioni *OTT* deve successivamente scegliere il prezzo p_s del servizio che, per un valore fissato di p_c , renda massimo il suo profitto u_{ott} .

Nel contesto descritto, si delinea quindi un intervento dell'Autorità di Regolamentazione in tutti i casi in cui il Fornitore *OTT* non riesca a trovare un prezzo $p_s > 0$ che verifichi la condizione di massimo desiderata - ovvero nel caso in cui la competizione tra *NSP* e *OTT*, secondo le regole del libero mercato, conduca a una condizione di evidente "non sostenibilità" economico-finanziaria, ad esempio da parte dell'*OTT*.

Le quote di *welfare* dei fornitori, sulle quali può intervenire l'Autorità, si possono scrivere ricorrendo alle espressioni normalizzate di variabili e funzioni del modello, oppure ricavare dalla relazione che esiste tra quote di *welfare* dei diversi Fornitori.

In pratica, si può ad esempio scrivere per lo *NSP*

$$\frac{u_{nsp}}{W} = \frac{u_{nsp}/(N\sqrt{x}(1+\omega))}{W/(N\sqrt{x}(1+\omega))} = \frac{v_1 \left((1-v_1) + q(1-v_2)(\psi + \theta_{ott}(\alpha_s - \rho)) \right)}{(1/2)(1-v_1^2)}$$

e ricavare la quota di *welfare* del fornitore *OTT* dalla relazione

$$\frac{u_{ott}}{W} = \frac{1}{2} - \frac{u_{nsp}}{W}$$

Poichè nella analisi condotta sino ad ora si è implicitamente assunto che il sistema considerato sia "chiuso" rispetto alle fonti di ricavo, ossia si è ipotizzato che non esistano forme di finanziamento diverse da quella rappresentata dal mercato (= Utenti), l'intervento dell'Autorità si traduce nella imposizione di un prezzo p_c ridotto, rispetto a quello proposto

dallo *NSP*, e in un bilanciamento delle quote del *welfare* tra Fornitori e Utenti, essendo la quota di *welfare* distribuita agli Utenti uguale a

$$W_{usr} := (W - \sum_i u_i)/W, \quad i = ott, nsp$$

E' allora evidente che l'Autorità può definire la portata degli interventi stabilendo un valore (in percentuale) per il *welfare* di uno dei Fornitori, ovvero fissando il valore di uno dei rapporti u_{nsp}/W , u_{ott}/W , essendo l'altro determinato di conseguenza, dato che per definizione è

$$\sum_i \frac{u_i}{W} = \frac{1}{2}, \quad i = ott, nsp$$

Le equazioni descritte per il *social welfare* W e per le quote di *welfare* dei fornitori u_{nsp}/W , u_{ott}/W , rappresentano perciò un sistema di equazioni dal quale è possibile ricavare, per via analitica o numerica, i valori ottimi dei prezzi dei servizi incogniti p_c^* e p_s^* , in modo tale che sia soddisfatta, per valori fissati delle quote di *welfare* di Fornitori e Utenti, la condizione di sostenibilità complessiva del mercato.

Innovazione tecnologica

I risultati dell'analisi eseguita col modello a tre agenti nello scenario di distribuzione dei servizi "tradizionale" permettono di fare alcune importanti osservazioni relative al ruolo dell'innovazione tecnologica.

Assumeremo nuovamente che i servizi dello *NSP* e dell'*OTT* siano offerti al mercato a tariffe *flat*. L'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* applicherà all'*OTT* (cliente *business*) una tariffa *flat* sino al raggiungimento di un valore soglia prefissato del traffico di rete x_0 , superato il quale la tariffazione sarà a volume, con andamento crescente in modo lineare col traffico.

Sulla base di queste ipotesi, il profitto dell'*OTT*, ricavato in precedenza, sarà dato dall'espressione

$$u_{OTT}(p_s) = \int_{v_2}^1 p_s M dv - C_{OTT}(p_{OTT}, Y), \quad M = qN, N \leq 1$$

con i costi, originati dalle somme che l'*OTT* corrisponde allo *NSP* per i servizi di connettività ricevuti, espressi dalla formula

$$C_{OTT}(p_{OTT}, Y) = \begin{cases} \int_{v_2}^1 (p_{OTT} + \eta_{OTT}(y - x_0)) M dv, & \text{se } y - x_0 > 0 \\ \int_{v_2}^1 p_{OTT} M dv, & \text{se } y - x_0 \leq 0 \end{cases}$$

dove $y(v)$ rappresenta il traffico di rete generato dal servizio dell'*OTT* per singola connessione, mentre Y rappresenta il valore *aggregato* di quello stesso traffico.

In questa espressione si può porre

$$y: = \alpha_s \bar{x}$$

che rappresenta il traffico per connessione generato dal servizio dell'*OTT* espresso come frazione del traffico massimo di rete \bar{x} , anch'esso valutato per singola connessione.

Inoltre, per la quota di traffico x_0 , nella formula per C_{OTT} si può porre

$$x_0: = \beta \bar{x}$$

Nell'espressione del costo $c(v)$ per singola connessione - l'integranda in C_{OTT} - figurano:

1. il prezzo p_{OTT} applicato dal *NSP* all'*OTT*, che si può ragionevolmente assumere pari a una frazione del prezzo di mercato della connessione, scrivendo $p_{OTT} = \gamma p_c$;
2. il tasso η_{OTT} della componente a volume della tariffa, che può anch'esso essere espresso in funzione del prezzo p_c della connessione e "normalizzato" al valore del traffico massimo di rete, ponendo $\eta_{OTT} = (p_c/\bar{x}) \bar{\eta}_{OTT}$.

Introducendo i nuovi parametri nell'espressione relativa al costo $c(v)$ della connessione, si ottiene la formula

$$c(v) = \begin{cases} \gamma p_c + \bar{\eta} p_c (\alpha_s - \beta), & \text{se } \alpha_s - \beta > 0 \\ \gamma p_c, & \text{se } \alpha_s - \beta \leq 0 \end{cases}$$

Nel caso $\alpha_s - \beta > 0$, è evidente che il secondo termine rappresenta un costo *extra* dipendente dal servizio, dalla cui presenza si evince la "convenienza" (se non *la necessità*) per l'*OTT* di ricorrere a tecnologie di compressione che consentano di ridurre la quantità di traffico necessaria per la trasmissione del servizio verso l'Utente.

In altre parole, se l'*OTT* vuole evitare di incorrere in una penalizzazione finanziaria, ovvero un effetto depressivo del profitto, è opportuno che offra servizi con la differenza $\alpha_s - \beta$ non troppo grande. Anzi, il criterio obiettivo potrebbe essere quello di curare la realizzazione del servizio in modo che sia $\alpha_s < \beta$, in modo da evitare del tutto i costi *extra* legati al superamento della soglia di traffico legata alla tariffazione a volume.

L'importanza dell'innovazione tecnologica per il contenimento dei costi e il raggiungimento di migliori risultati finanziari per un determinato Fornitore trova dunque pieno riscontro nel modello utilizzato e nelle analisi eseguite.

I servizi nel modello a quattro agenti: Utenti, Operatore di Comunicazione, CDN e OTT

Se per la distribuzione del servizio all'utenza l'*OTT* ricorre a una *CDN*, in linea di principio tutti gli N utenti del sistema con *budget* sufficiente per l'acquisto del servizio a prezzo p_s potranno ricevere il servizio con il livello di qualità (*QoS*) atteso. Di conseguenza, la *CDN* consente all'*OTT* di allargare, anche in modo significativo, il mercato potenziale.

In questo caso si avrà

$$M = qN \equiv N \text{ (ovvero } q = 1\text{)}$$

Analogamente al caso con distribuzione "tradizionale" del servizio, essendo il traffico utente limitato dallo *NSP* al valore massimo $x(v) = \bar{x}$, la condizione di beneficio netto percepito ≥ 0 al momento dell'acquisto consentirà di determinare i valori minimi del parametro v per i segmenti d'utenza con *budget* sufficiente per l'acquisto, rispettivamente, del solo servizio di connettività oppure di connettività e servizio *OTT*.

Se la *willingness to pay* dell'utente è espressa, come visto in precedenza, dalla formula

$$V_u(x, \omega; v) = v(\sqrt{x} + \omega)$$

dove ω è il "parametro di scenario operativo" che figura nel *budget* (*extra*, rispetto a quello per l'acquisto della connettività) che gli Utenti possono spendere per l'acquisto del servizio *OTT* a prezzo p_s , dalla condizione descritta $u(x, \omega; p_c, p_s; v) \geq 0$ si otterranno

$$v_1 = \frac{p_c}{\sqrt{x}(1+\omega)} \quad \text{e} \quad v_2 = \frac{p_c+p_s}{\sqrt{x}(1+\omega)}$$

Perciò, le espressioni del profitto dei Fornitori del sistema, che ora comprende anche il gestore della *CDN*, scritte in forma "quasi lineare" come differenza tra ricavi e costi, e comprensive dei termini che rappresentano anche le relazioni reciproche tra fornitori, saranno date rispettivamente da

$$u_{nsp}(x, y; p_c, p_{cdn}; v) = \int_{v_1}^1 p_c N dv + \int_{v_2}^1 (p_{cdn} + \theta_{cdn}(y - x_0)) N dv, \quad C_{nsp} = 0$$

$$u_{ott}(x, y; p_s, p_{ott}; v) = \int_{v_2}^1 p_s N dv - \int_{v_2}^1 (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x'_0)) N dv, \quad x'_0 \leq x_0$$

$$u_{cdn}(x, y; p_{ott}, p_{cdn}; v) = \int_{v_2}^1 (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x'_0)) N dv - \int_{v_2}^1 (p_{cdn} + \theta_{cdn}(y - x_0)) N dv$$

Anche in questo caso, nell'espressione del profitto dell'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* è stato omesso il termine relativo ai costi ($C_{nsp} = 0$), ipotizzando già avvenuto l'ammortamento degli investimenti infrastrutturali (*CAPEX*) e assumendo i costi operativi di gestione (*OPEX*) relativi alla singola connessione significativamente inferiori alla sua redditività.

I costi invece figurano nelle espressioni del profitto di entrambi i Fornitori *OTT* e *CDN*, dove sono specificati sempre con riferimento ad una singola connessione.

Da notare, nel caso del Fornitore dei servizi *CDN*, la particolare forma della funzione di utilità, in cui non compaiono termini che rappresentano gli "effetti del mercato", presenti invece nelle funzioni degli altri due *stakeholder*. Il Fornitore dei servizi *CDN*, infatti, svolge nel modello il ruolo esclusivo di intermediario (*broker*) tra *OTT* e Operatore di Telecomunicazioni *NSP*.

Tutte le relazioni *B2B* reciproche tra i Fornitori presenti nel sistema sono rappresentate nelle funzioni di profitto sopra riportate - oltre evidentemente alle relazioni *B2C* dei Fornitori con i loro clienti, laddove esse siano appropriate.

L'espressione del *social welfare* del sistema, inteso come aggregazione di tutte le funzioni di utilità degli *stakeholder*, e calcolabile, con funzioni di utilità "quasi lineari", ovvero nella forma $U_i = V_i - p_i$, in modo indipendente dai trasferimenti monetari che hanno luogo nel sistema, sarà uguale a quello formulato nel caso di distribuzione tradizionale del servizio. Precisamente, sarà

$$W = \int_0^1 v(\sqrt{x(v)} + w_s) N dv$$

dove con w_s è stata indicata la *willingness to pay* dell'Utente, in relazione all'acquisto del servizio s dell'*OTT*.

Assumendo che $x(v) = \bar{x}$ (traffico a tariffe *flat*) e usando le relazioni precedenti, con semplici calcoli, i profitti per *NSP*, *OTT*, *CDN* e il *welfare* valgono

$$u_{nsp}(x, y; p_c, p_{cdn}; v) = N \left(p_c(1 - v_1) + (p_{cdn} + \theta_{cdn}(y - x_0))(1 - v_2) \right)$$

$$u_{ott}(x, y; p_s, p_{ott}; v) = N \left(p_s(1 - v_2) + (p_{ott} + \theta_{ott}(y - x'_0))(1 - v_2) \right)$$

$$u_{cdn}(x, y; p_{ott}, p_{cdn}; v) = N \left((p_{ott} + \theta_{ott}(y - x'_0))(1 - v_2) - (p_{cdn} + \theta_{cdn}(y - x_0))(1 - v_2) \right)$$

$$W = \int_{v_1}^1 v\sqrt{\bar{x}}(1 + \omega) N dv = N \frac{\sqrt{\bar{x}}}{2} (1 + \omega)(1 - v_1^2), \quad w_s = \omega\sqrt{\bar{x}}, \quad \omega \geq 0$$

Poichè sia l'*OTT* che il Fornitore di servizi *CDN*, essendo clientela di tipo *business*, avranno negoziato con l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* opportune riduzioni di prezzo sulle connessioni - riduzioni che considereremo in generale diverse, visto il ruolo di puro *brokering* della *CDN* nel modello - sarà lecito assumere

$$p_{cdn} = \varphi p_c, \quad \varphi < 1$$

$$p_{ott} = \chi p_{cdn} = \psi p_c, \quad \chi, \psi < 1, \quad \psi \neq \varphi$$

Come nel caso precedente, esprimeremo i tassi di variazione θ_{ott} e θ_{cdn} del traffico "a volume" indotto dai servizi, rispettivamente, dell'*OTT* e della *CDN*, in forma adimensionale, introducendo i parametri $\bar{\theta}_{ott}$ e $\bar{\theta}_{cdn}$, definiti dalle relazioni

$$\theta_{cdn} = \bar{\theta}_{cdn} \frac{p_c}{\bar{x}}$$

$$\theta_{ott} = \bar{\theta}_{ott} \frac{p_c}{\bar{x}}$$

Il traffico y indotto dal servizio *OTT*, che per la legge di conservazione del traffico ritroveremo inalterato in uscita dalla *CDN*, rappresenterà allora una frazione del traffico totale per connessione e perciò anche in questo caso avremo

$$y = \alpha_s \bar{x}, \quad \alpha_s < 1$$

con il coefficiente di proporzionalità α_s che dipenderà, in particolare, dallo specifico servizio s considerato e dalle (eventuali) tecniche di compressione selezionate dall'*OTT* ovvero dalla *CDN* (assumendo che l'*OTT* abbia concesso autorizzazione alla *CDN* in tal senso).

Esprimendo infine le soglie di traffico "a volume" x_0 e x'_0 come frazioni del traffico massimo per connessione, ovvero ponendo

$$x_0 = \rho \bar{x}, \quad \rho < 1$$

$$x'_0 = \rho' \bar{x}, \quad \rho' < 1$$

si otterrà la definizione dello "scenario operativo" di riferimento, espresso mediante i valori dei sette parametri introdotti $\varphi, \psi, \bar{\theta}_{cdn}, \bar{\theta}_{ott}, \alpha_s, \rho, \rho'$.

Fissati valori specifici per i parametri di scenario, dunque, le espressioni del profitto Fornitori sopra ricavate risulteranno uguali a

$$u_{nsp} = N p_c \left((1 - v_1) + (1 - v_2) \left(\varphi + \theta_{cdn} \left(\frac{y - x_0}{\bar{x}} \right) \right) \right)$$

$$u_{ott} = N (1 - v_2) \left(p_s - p_c \left(\psi + \theta_{ott} \left(\frac{y - x'_0}{\bar{x}} \right) \right) \right)$$

espressioni che riscritte in forma normalizzata ed espresse in funzione di variabili prezzo normalizzate diventano

$$\frac{u_{nsp}}{N\sqrt{x}(1+\omega)} = \frac{p_c}{\sqrt{x}(1+\omega)} \left((1-v_1) + (1-v_2) \left(\varphi + \bar{\theta}_{cdn}(\alpha_s - \rho) \right) \right)$$

$$\frac{u_{ott}}{N\sqrt{x}(1+\omega)} = (1-v_2) \left(\frac{p_s}{\sqrt{x}(1+\omega)} - \frac{p_c}{\sqrt{x}(1+\omega)} \left(\psi + \bar{\theta}_{ott}(\alpha_s - \rho') \right) \right)$$

dove si è ommesso di esplicitare le variabili v_1 e v_2 per ragioni di chiarezza.

In queste formule, $\frac{p_c}{\sqrt{x}(1+\omega)}$ e $\frac{p_s}{\sqrt{x}(1+\omega)}$ rappresentano nuovamente le variabili incognite da determinare, una volta fissato lo specifico scenario di mercato che in questo caso viene rappresentato dai valori assunti dai parametri $\varphi, \psi, \bar{\theta}_{cdn}, \bar{\theta}_{ott}, \alpha_s, \rho, \rho'$.

Procedendo in modo del tutto analogo al caso del modello con tre agenti, in un regime di non cooperazione tra Fornitori, quale è quello che si riscontra nella realtà di mercato, l'Operatore di Telecomunicazioni *NSP* fisserà il prezzo della connettività p_c , seguendo il criterio di massimizzazione dei ricavi (ovvero del profitto u_{nsp}).

Successivamente il Fornitore *OTT* sceglierà il prezzo p_s del servizio che, per un valore fissato di p_c , renderà massimo il suo profitto u_{ott} .

Ciò fatto, risulterà determinato anche il profitto della *CDN*, il cui valore, come dimostrato in precedenza, dipende solo da prezzi di intermediazione (p_{ott} e p_{cdn}) e non dai prezzi di mercato (p_c e p_s). Entrambi i prezzi di intermediazione, peraltro, sono proporzionali in questo modello al prezzo della connessione p_c , essendo collegati a variazioni di ricavo/costo dipendenti dal traffico e quindi dalla connessione, il cui prezzo è fissato dall'Operatore di Telecomunicazioni *NSP*.

Nel contesto descritto di mercato "chiuso", pertanto, fissato lo scenario operativo, non è certa l'esistenza di valori ottimi p_c^* e p_s^* che rendano massimo contemporaneamente il profitto per tutti i Fornitori.

Anche in questo caso, pertanto, vi sono margini per un intervento dell'Autorità di Regolamentazione, quando la competizione tra Fornitori, secondo le regole del libero mercato, porti a condizioni di "non sostenibilità".

Se pertanto le strategie di *pricing* dei Fornitori non fossero tali da soddisfare uno specifico scenario operativo, l'Autorità potrebbe individuare le condizioni di *efficienza* del mercato facendo ricorso al *welfare*.

In altre parole, si potrebbero identificare i valori ottimi p_c^* e p_s^* in un certo scenario operativo assegnando valori percentuali prefissati alle quote di *welfare* dei Fornitori u_{nsp}/W e u_{ott}/W , con u_{cdn}/W determinato di conseguenza, dato che per definizione

$$\sum_i \frac{u_i}{W} = \frac{1}{2}, \quad i = ott, cdn, nsp$$

Il sistema di equazioni così ottenuto consentirebbe di ricavare, per via analitica o numerica, i valori dei prezzi ottimi incogniti p_c^* e p_s^* compatibili con lo scenario tecnologico e di mercato identificato dai valori specifici dei parametri di sistema.

Conclusioni

Il presente lavoro di Tesi ha riguardato l'indagine su alcuni temi legati alla relazione tra complessità, innovazione e tecnologia.

Il contesto in cui è stata analizzata la relazione è quello dell'ecosistema per la produzione, la distribuzione e il consumo di servizi di telecomunicazione.

Obiettivo del lavoro è stato quello di far luce sulle strategie di prezzo perseguibili dalle aziende del settore, e valutare condizioni di migliore sostenibilità per il sistema nel suo complesso. A tale scopo sono stati sviluppati alcuni modelli tecnico-economici che tengono conto delle relazioni tra attori o *agenti*, rappresentano i diversi ruoli e prendono in considerazione le differenze e le eventuali specificità. Sullo sfondo, vi è l'interesse dell'Autore per lo studio delle condizioni necessarie per la migrazione dai modelli economici correnti a modelli economici fondati sull'innovazione [Smith 2014] [Dyer 2011] [Johnson 2010].

Fulcro dell'indagine è stata la ricerca di strumenti per una rappresentazione efficace della realtà del settore considerato, che presentassero un buon grado di verosimiglianza, rispetto alle situazioni reali, senza richiedere per la formalizzazione dei concetti e dei problemi il ricorso a procedimenti troppo astratti o di particolare complessità.

Con riferimento al *pricing*, in particolare, in questo lavoro è stato analizzato in dettaglio lo schema di tariffe *flat*, e per confronto lo schema "a volume", specie nel caso in cui, in presenza di una *CDN*, l'Operatore di Telecomunicazioni applichi sia all'*OTT* che alla *CDN* una tariffa "a due componenti": ovverosia, una tariffa *flat* fino al raggiungimento di una certa soglia di traffico per connessione, e una tariffa a volume per valori di traffico superiori a tale soglia - evidentemente "negoziata" con l'Operatore di Telecomunicazioni.

I principali risultati ottenuti in questo studio nel caso di strategie di prezzo *flat* possono essere riassunti come segue.

Con riferimento al servizio di connettività, il modello (semplificato) a due agenti evidenzia l'esistenza di un prezzo di mercato *ottimo* che l'Operatore di Telecomunicazioni può applicare alla clientela residenziale. La quota di *welfare* trattenuta dall'Operatore cresce all'aumentare

del prezzo del servizio, ma nello stesso tempo decrescono i ricavi perchè diminuisce il tasso di sottoscrizione al servizio stesso. Ponendo a confronto gli andamenti del *social welfare* con quelli delle quote di *welfare* dell'Operatore e degli Utenti, si trova che il prezzo di mercato della connettività che assicura *welfare* positivo per gli attori del modello non è unico. Dal modello emerge perciò la possibilità, per l'Autorità di Regolamentazione, di intervenire, in un specifico scenario tecnologico e di mercato, per bilanciare il maggior profitto di uno degli agenti del modello (l'Operatore) con adeguati livelli di sostenibilità per il complesso dell'ecosistema.

Nello scenario di mercato in cui, oltre alla connettività, è prevista la distribuzione di contenuti / applicazioni, il modello a tre agenti integra nella rappresentazione nuovi parametri di scenario, permettendo di evidenziare ulteriori proprietà dell'ecosistema considerato. Un primo elemento incluso nel modello sono le relazioni *business-to-business (B2B)* tra Fornitori (*OTT* e Operatore di Telecomunicazioni *NSP*), che completano le tipologie di relazioni rappresentate, visto che quelle *business-to-consumer (B2C)* tra Fornitori e Utenti non sono più le uniche considerate, come avvenuto nel modello a due agenti. Un secondo elemento è la segmentazione del mercato degli Utenti, legata alle scelte tecnologiche dell'*OTT* relativamente alla distribuzione di contenuti / applicazioni: infatti, in assenza di soluzioni tecnologiche quali la *CDN*, non è garantita per tutti gli Utenti la possibilità di fruire dei servizi *OTT* secondo specifici requisiti di qualità (*QoS*). Di conseguenza, il mercato potenziale dell'*OTT* si differenzia da quello dello *NSP*, risultando costituito da un numero di Utenti inferiore. La decisione di non utilizzare una *CDN* può dunque tradursi per l'*OTT* in un incremento dei rischi di penalizzazione del profitto. Fra le proprietà che emergono da questo modello di simulazione, in scenari simili alle attuali realtà di mercato, si dimostra che, una volta fissato il prezzo per il servizio di connettività, esiste un prezzo del servizio contenuti / applicazioni che massimizza i ricavi dell'*OTT*. Il contesto competitivo analizzato col modello a tre agenti mostra altresì che vi sono opportunità significative di profitto per l'*OTT* quando il prezzo della connettività è basso, perchè vi è maggiore disponibilità di *budget* da parte degli Utenti per l'acquisto del servizio e anche perchè i costi operativi del servizio per l'*OTT* calano con il prezzo della connettività. Inoltre, il modello evidenzia buone opportunità di profitto per l'*OTT* anche quando il prezzo della connettività è alto, purchè l'*OTT* eviti di competere a prezzi alti (che causerebbero una riduzione del tasso di sottoscrizione) o a prezzi troppo bassi (che avrebbero effetto depressivo sui ricavi dipendenti dalla differenza tra il prezzo del servizio e quello della connettività): la condizione ottima per l'*OTT* coincide con un prezzo di contenuti / applicazioni prossimo al valor medio dell'intervallo di variabilità. Per quanto riguarda lo *NSP*,

il modello a tre agenti evidenzia diverse importanti proprietà. Innanzitutto, i ricavi dipendono dall'effetto "combinato" dei livelli di penetrazione del mercato da parte dell'*OTT* e dallo sconto sulle tariffe che l'Operatore applica all'*OTT*. Inoltre, per questi ricavi esiste un massimo: inizialmente essi risentono della penetrazione crescente del servizio di connettività, per poi essere influenzati dalla sua diminuzione al crescere dei prezzi di mercato. Un'analisi della competizione tra Fornitori effettuata adottando l'approccio dei "giochi Stackelberg" mostra altri aspetti interessanti. L'*OTT* può massimizzare il suo profitto senza ricorrere a tariffe *premium* per i suoi clienti, se beneficia di uno sconto significativo sulla connettività ("clientela *business*") da parte dello *NSP*. Per quest'ultimo Fornitore l'analisi "alla Stackelberg" mostra che esiste un prezzo ottimo per la connettività, come ricavato nel modello a due agenti, ma tale prezzo non è unico, risultando compreso in un ben definito intervallo di valori. Questa circostanza apre ancora una volta spazi per l'intervento dell'Autorità, soprattutto in un regime di non cooperazione tra i Fornitori *OTT* e *NSP*, quale quello che si riscontra nella realtà.

In uno scenario tecnologico evoluto, in cui l'*OTT* ricorre a una *CDN* per ottimizzare la distribuzione del servizio agli Utenti, è stato simulato il comportamento dei quattro agenti del modello in due situazioni antitetiche: quella caratterizzata da interventi marginali dell'Autorità, e quella in cui l'Autorità interviene in modo più evidente. Dal modello emerge che nel primo caso le opportunità di profitto per l'*OTT* sono maggiori, mentre nel secondo caso tali opportunità si riducono, essendo lo scenario competitivo di partenza più favorevole allo *NSP*. In entrambi i casi la *CDN* gioca un ruolo di puro *broker* dei servizi, con profitto che, "compresso" tra quelli dello *NSP* e dell'*OTT*, e non alimentato dal mercato (= Utenti), lascia pochi margini per l'ottimizzazione.

Nel caso in cui i Fornitori perseguano strategie di prezzi "a volume", situazione di particolare interesse per i servizi digitali su rete mobile, ma meno importante per i servizi su rete fissa, uno scenario degno di attenzione è quello di tariffe *flat* per la connettività utente e tariffe a volume per contenuti / applicazioni imposte dallo *NSP* all'*OTT* e/o alla *CDN*, quando i valori di traffico per singola connessione sono superiori ad una soglia prefissata. Lo studio di un simile scenario ha permesso di evidenziare, partendo dal modello a tre agenti, alcuni importanti aspetti collegati al ruolo dell'innovazione tecnologica. E' emersa precisamente la necessità, per l'*OTT*, di utilizzare ad esempio tecnologie di compressione dati per ridurre il traffico necessario alla trasmissione del servizio all'utenza, se il Fornitore vuole ridurre il rischio di una penalizzazione finanziaria. Nell'ipotesi di sistema "chiuso" (ovvero di un sistema in cui non figurino fonti di ricavo diverse da quelle rappresentate dagli Utenti che acquistano i

servizi), la complessità (inevitabile) delle relazioni nel modello a quattro agenti conduce alla definizione di scenari di mercato a molti parametri. In questi casi, per un determinato scenario, l'esistenza di prezzi ottimi per connessione e contenuti / applicazioni non è certa. Se dunque la competizione tra Fornitori in condizioni di libero mercato porta a condizioni di non sostenibilità, l'Autorità potrebbe certamente intervenire per ristabilire le condizioni di efficienza del sistema, facendo ricorso al *welfare*.

Bibliografia

Acemoglu, D., Bimpikis, K., and Ozdaglar, A., Price and capacity competition, *Games and Economic Behavior*, 66:1-26, 2009.

Afrasiabi, M. H., and Guérin, R., Exploring user-provided connectivity: A simple model, in *Proceedings of 7th International Workshop on Advanced Internet Charging and QoS Technology (ICQT)*, Paris, 2011.

Allon, G., and Federgruen, A., Service competition with general queueing facilities, *Operations Research*, 56(4):827-849, 2008.

Altman, E., Hanawal, M. K., and Sundaresan, R., Nonneutral network and the role of bargaining power in side payments. Available at <http://arxiv.org/abs/1204.4647>, 2012.

Altman, E., Legout, A., and Xu, Y., Network non-neutrality debate: An economic analysis, in *Proceedings of Networking 2011*, 68-81, Barcelona, 2011.

Andréasson, N., Evgrafov, A., and Patriksson, M., *An Introduction to Continuous Optimization*, Lund: Studentlitteratur, 2007.

Arlandis, A., and Baranes, E., Interactions between network operators, content producers and internet intermediaries: Empirical implications of network neutrality, *Intereconomics*, 46(2):98-105, 2011.

Axelrod, R., *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton: Princeton University Press, 1997.

Baland, J. M., Bardhan, P., and Bowles, S., *Inequality, Cooperation, and Environmental Sustainability*, Princeton: Princeton University Press, 2006.

Bakos, Y., and Brynjolfsson, E., Bundling information goods: Pricing, profits, and efficiency, *Management Science*, 45(12): 1613-1630, 1999.

Ben-Akiva, M., and Lerman, S., *Discrete Choice Analysis*, Cambridge: MIT Press, 1985.

Benkirane, R., *La Teoria della Complessità*, Milano: Bollati Boringhieri, 2007.

Besen, S., and Farrell, J., Choosing How to Compete: Strategies and Tactics in Standardization, *Journal of Economic Perspectives*, 2:117-131, 1994.

- Bocchi, G., e Ceruti, M., *La Sfida della Complessità*, Milano: Mondadori, 2^a edizione, 2007.
- Boussin, F., Maillé, P. and Tuffin, B., Net neutrality debate: Impact of competition among ISPs, in *Proceedings of the Fourth International Conference on COMMunication Systems and NETWORKS (COMSNETS)*, Bangalore, 2012.
- Bueheler, S., Dewenter, R., and Haucap, J., Mobile number portability in Europe, *Telecommunications Policy*, 30(7):385-399, 2006.
- Buschmann, J., Ugolini, M., e Neri, A., Dagli oggetti alla Società Intelligente: la Rivoluzione dell'Internet delle Cose, *Rivista AEIT*, Milano, 2013.
- Caron, S., Kesidis, G., and Altman, E., Application neutrality and a paradox of side payments, in *Proceedings of the Third International Workshop on Re-Architecting the Internet (ReArch 2010)*, Philadelphia, PA, 2010.
- Chaitin, G. J., *Teoria Algoritmica della Complessità*, Giappichelli, 2006.
- Chesbrough, H., *Open Services Innovation - Rethinking Your Business to Grow and Compete in a New Era*, San Francisco: Jossey Bass (Wiley), 2011.
- Coucheney, P., Maillé, P. and Tuffin, B., Network Neutrality Debate and ISP Inter-relations: Traffic Exchange, Revenue Sharing, and Disconnection Threat, available at <http://hal.inria.fr/hal-00659278/fr/>, 2012.
- Courcoubetis, C., and Weber, R., *Pricing Communication Networks - Economics, Technology and Modelling*, Chichester: John Wiley & Sons, 2003
- Cricelli, L., Grimaldi, M., and Ghiron, N., L., The competition among mobile network operators in the telecommunication supply chain, *International Journal on Production Economics*, 131(1):22-29, 2011.
- Crowcroft, J., Net neutrality: The technical side of the debate: A white paper, *Computer Communication Review*, 37(1):49-56, 2007.
- DaSilva, L. A., Pricing of QoS enabled networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 3(2):2-8, 2000.
- De Toni, A., e Comello, L., *Viaggio nella Complessità*, Marsilio, 2007.
- D'Inverno, M., and Luck, M., *Understanding Agent Systems*, Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- Dyer, J., Gregersen, H., and Christensen, C. M., *The Innovator's DNA: Mastering the Five Skills of Disruptive Innovators*, Harvard Business Review Press, 2011.
- Dutta, P. K., *Strategies and Games: Theory and Practice*, Cambridge: MIT Press, 1999.
- Easley, D., and Kleinberg, J., *Networks, Crowds and Markets: Reasoning About a Highly Connected World*, New York: Cambridge University Press, 2010.

-
- Economides, N., The Economics of Networks, *International Journal of Industrial Organization*, 14:673-699, 1996.
- Farahat, A., and Perakis, G., Profit loss in differentiated oligopolies, *Operation Research Letters*, 37(1):43-46, 2009.
- Falkner, M., Devetsikiotis, M., and Lambadaris, I., An overview of pricing concepts for broadband IP networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 3(2): 2-13, 2000.
- Forrester, J. W., *Industrial Dynamics*, Martino Fine Books, 2013 (Reprint of 1961 First Edition).
- Franz, P., *Value-Driven Business Process Management: The Value-Switch for Lasting Competitive Advantage*, McGraw-Hill, 2012.
- Fudenberg, D., and Tirole, J., *Game Theory*, Cambridge: MIT Press, 1991.
- Hosanagar, K., Krishnan, R., Smith, M., and Chuang, J., Optimal pricing of content delivery network (CDN) services, in *Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 10, 2004.
- Johari, R., Weintraub, G. Y., and Van Roy, B., Investment and market structure in industries with congestion, *Operations Research*, 58(5):1303-1317, 2010.
- Johnson, M. W., *Seizing the White Space: Business Model Innovation for Growth and Renewal*, Boston: Harvard Business Press, 2010.
- Kelly, F.P., Mathematical modelling of the Internet, in *Proceedings of the Fourth International Congress on Industrial and Applied Mathematics*, 2000.
- Kim, H.-S., and Yoon, C.-H., Determinants of subscriber churn and customer loyalty in the Korean mobile telephony market, *Telecommunications Policy*, 28(9-10):751-765, 2004.
- Krugman, P., and Wells, R., *Microeconomics*, New York: Worth Publishers, 2005.
- Krugman, P., and Wells, R., *Macroeconomics*, New York: Worth Publishers, 2006.
- Leibowitz, S., and Margolis, S., Network Externality: An Uncommon Tragedy, *Journal of Economic Perspectives*, 2:133-150, 1994.
- Maillé, P., Naldi, M., and Tuffin, B., Price war with migrating customers, in *Proceedings of 17th IEEE International Symposium on Modelling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOT 2009)*, London, 2009.
- Maillé, P., Naldi, M., and Tuffin, B., Competition for migrating customers: A game-theoretic analysis in a regulated regime, in *Proceedings of IEEE GLOBECOM*, New Orleans, 2008.
- Maillé, P., and Tuffin, B., Sponsored search engines in competition: Advertisers behavior and engines optimal ranking strategies, in *Proceedings of the 19th Annual Meeting of the IEEE/ACM International Symposium on Modelling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2011)*, 2011.

-
- Mitchell, M., *Complexity: A Guided Tour*, New York: Oxford University Press, 2009.
- Mo, J., Kim, W., and Lee, D., Impacts of universal service regulation for broadband internet services, in Cohen, J., Maillé, P., and Stiller, B., editors, *Economic of Converged, Internet-Based Networks*, 14-25, Berlin: Springer, 2011.
- Naldi, M., A simple model for the effectiveness of delaying strategies for telecommunications churn reduction, in *Proceedings of 10th International Conference on Computer Modelling and Simulation (EUROSIM)*, Cambridge, 2008.
- Newth, F., *Business Models and Strategic management – A New Integration*, New York: Business Expert Press, 2012.
- Newman, M. E. J., *Networks – An Introduction*, New York: Oxford University Press, 2010.
- Newman, M. E. J., Barabasi, A. L., and Watts, D. J., editors, *The Structure and Dynamics of Networks*, Princeton: Princeton University Press, 2006.
- Neri, A., Leo, M., e Ugolini, M., Modelli di interazione naturale in ambienti domotici evoluti: Home 2.0, *Rivista AEIT*, Milano, 2013.
- Neri, A., Ugolini, M. and Allegretti, M., Agent-Based Modeling as a Tool to Investigate the Viability of Next-Generation Networks, in *Proceedings of the 50th FITCE International Congress*, Palermo, 2011 [also included in *IEEE Xplore Digital Library, 50th FITCE Congress Publications*].
- Neri, A., Ugolini, M., and Buschmann, J., Towards Coordinated Innovation: A Path to Successful Convergence of Ongoing Telecommunication Revolutions, in *Proceedings of the 51st FITCE International Congress*, Poznan, 2012.
- Norris, J. R., *Markov Chains*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- North, J. M., and Macal, C. M., *Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*, New York: Oxford University Press, 2007.
- Odlyzko, A., Network neutrality, search neutrality, and the never-ending conflict between efficiency and fairness in markets, *Review of Network Economics*, 8(1):40-60, 2009.
- Osborne, M. J., and Rubinstein, A., *A Course in Game Theory*, Cambridge: MIT Press, 1994.
- Park, K., and Willinger, W., editors, *The Internet as Large-Scale Complex Systems*, New York: Oxford University Press, 2005.
- Porter, M. E., What is strategy?, *Harvard Business Review*, November-December:61-78, 1996.
- Qi, J., Zhang, Y., Zhang, Y., and Shi, S., TreeLogit model for customer churn prediction, in *Proceedings of IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing*, 70-75, Washington, 2006.

Shapiro, C., and Varian, H., *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*, Boston: Harvard Business School Press, 1999.

Smith, E., Ugolini, M., and Neri, A., The Business Requirements and the Technical Fabric for the Smart City. An Anglo-Italian View, in *Proceedings of the 53th FITCE International Congress*, Naples, 2014 [available also in *IEEE Xplore Digital Library*, 53rd FITCE Congress Publications].

Songhursts, D. J., editor, *Charging Communication Networks*, Amsterdam:Elsevier, 1999.

Sterman, J. D., *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill/Irwin, 2000.

Sydsaeter, K., and Hammond, P., *Essential Mathematics for Economic Analysis*, Harlow: Prentice Hall, 3rd edition, 2008.

Talluri, K. T., and van Ryzin, G. J., *The theory and Practice of Revenue Management*, Boston: Kluwer, 2004.

Tesfatsion, L., and Judd, K.L., Agent-based computational economics, in *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2., Amsterdam: North Holland, 2006.

Ugolini, M., Buschmann, J., e Neri, A., Smart City: verso la Società del Futuro, *Rivista AEIT*, Milano, 2013

Ugolini, M., Macrina, P., and Buschmann, J., Smarter Business Model for Smart Living, Smart Companies and Smarter Societies, in *Proceedings of the 49th FITCE International Congress*, Santiago de Compostela, 2010.

Ugolini, M., Penza, A., Macrina, P. and Buschmann, J., From Objects, to Cities, to the Smart Company: the Revolution of the Internet of Things, in *Atti del Convegno Nazionale AEIT "Prospettive economiche e strategie industriali"*, Milano, 2011.

Vives, X., *Oligopoly Pricing*, Cambridge: MIT Press, 1990.

Wieland, K., The customer retention challenge, *Telecommunications*, 40(10):14-17, 2006.

Ringraziamenti

Quando si comincia un'impresa, non si sa quanto lontana sia la meta e quanto difficile sarà il cammino. Perciò, la guida dei Maestri, e la presenza affettuosa di Familiari e Amici, sono essenziali per vincere qualsiasi sfida intellettuale.

A conclusione della mia Tesi di Dottorato desidero ringraziare tutti, soprattutto coloro, fra i miei Maestri, che mi hanno concesso il privilegio di poterli considerare Amici.

Ringrazio pertanto:

il Prof. Alessandro Neri, a cui devo molto per il raggiungimento di questo traguardo, per avermi reso partecipe di alcune sue iniziative, accolto nel gruppo, guidato e incoraggiato in questi anni - e soprattutto, accordato una fiducia che spero poter continuare a meritare ancora!

il Prof. Franco Mazzenga, che è stato un punto di riferimento assoluto per la disponibilità e la pazienza che ha dimostrato lungo tutto il percorso di elaborazione di questo lavoro, sostenendomi e guidandomi nei momenti di maggiore difficoltà;

il Prof. Giuseppe Schettini, per la sua disponibilità ad accettare i miei (modesti) contributi alle iniziative del Collegio di Elettronica Applicata del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi "Roma Tre", volte ad avvicinare l'Industria all'Accademia e gli studenti al mondo delle imprese;

gli Amici e colleghi di COMLAB (Laboratorio di Elaborazione Segnali Digitali, Comunicazioni Ottiche e Multimediali) del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi "Roma Tre", che non nomino singolarmente, ma che con la loro presenza e vicinanza hanno contribuito a rendere più interessante e istruttivo il cammino che ho percorso per arrivare alla conclusione di questo lavoro;

gli Amici e colleghi del Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa "Mario Lucertini" dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", che mi hanno accolto e ospitato nelle fasi più intense di questa ricerca, e volentieri hanno condiviso idee e opinioni sui alcuni temi oggetto delle mie analisi, e con i quali mi auguro di continuare a collaborare;

la mia Famiglia - e mia Moglie, in particolare - per ogni consiglio e sorriso ricevuto, per l'affetto, comprensione e pazienza senza i quali non avrei raggiunto questo ulteriore traguardo