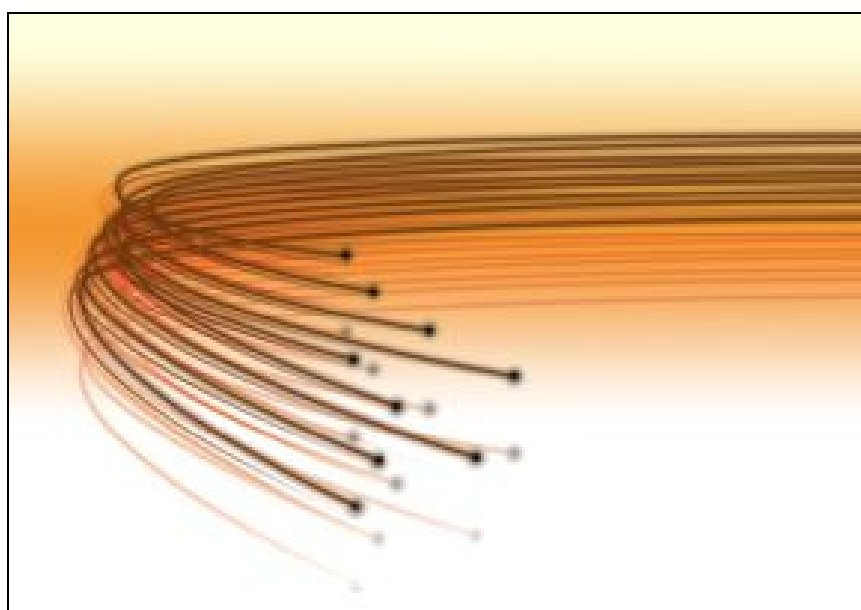




Ministero dello Sviluppo Economico

Dipartimento per le Comunicazioni

Confronto economico tra soluzioni FTTx



Alessandro Paci

alessandro.paci@sviluppoeconomico.gov.it

Andrea Iannelli

andrea.iannelli@sviluppoeconomico.gov.it

DIPARTIMENTO PER LE COMUNICAZIONI



Giugno 2013

Indice

Obiettivi del lavoro.....	3
Introduzione.....	5
Il modello di calcolo per l'infrastruttura passiva.....	7
Le componenti attive	13
I costi ricorrenti	15
Analisi economica di scenario: valutazione di costi ed investimenti.....	18
Analisi economica di scenario: sostenibilità	22
Analisi di sensitività	26
Conclusioni.....	30
Bibliografia.....	32

Obiettivi del lavoro

Obiettivo del presente lavoro è quello di stimare e confrontare il **costo medio** delle differenti soluzioni **FTTx** e la relativa **sostenibilità economica** per un operatore che intenda investire in architetture di rete di accesso di nuova generazione.

E' evidente che il problema è estremamente complesso e, nella realtà, dovrà tenere conto di una molteplicità di variabili ambientali legate alla specificità dei singoli casi. Il singolo progetto ed il relativo studio di fattibilità dipenderanno infatti, in maniera determinante, dalla reale topologia della rete di accesso esistente, dalla effettiva distribuzione delle centrali e delle unità immobiliari da servire, dalla disponibilità o meno di infrastrutture riutilizzabili e, non ultimi, dai generici vincoli urbanistici e regolatori. Sarà quindi differente, per esempio, l'approccio al problema da parte di un operatore già dotato di infrastruttura propria, tipicamente l'operatore "*incumbent*" possessore della rete di accesso in rame, rispetto a quello di un qualsiasi altro operatore, più libero da un punto di vista di scelta tecnologica, ma legato alla necessità di accedere all'infrastruttura esistente tipicamente in modalità "*unbundling*". Nel presente lavoro si ipotizzerà, per semplicità, la completa disponibilità della rete in rame a "*costo zero*", limitandosi pertanto a stimare il solo **costo incrementale** del "sistema" FTTx rispetto a quanto già esistente.

I sistemi FTTx che verranno analizzati nel seguito sono desumibili dalle possibili combinazioni architetture **FTTH** (*Fiber to the Home*), **FTTB** (*Fiber to the Building*) ed **FTTC** (*Fiber to the Cabinet*) con le topologie di accesso P2P (*Point to Point*) e PON (*Passive Optical Network*) secondo la schematizzazione che segue:

Architettura/Topologia	FTTH	FTTB	FTTC
P2P	FTTH/P2P	FTTB/P2P	-
PON	FTTH/PON	FTTB/PON	FTTC/VDSL

Per quanto riguarda l'architettura FTTC si ipotizzerà una topologia di tipo PON per la tratta di rete in fibra ottica. Saranno quindi 5 le tipologie di accesso che verranno prese in considerazione, modellizzate in via generale e confrontate da un punto di vista di costo.

Quello che si prevede per il prossimo futuro è un utilizzo della soluzione **FTTH/P2P** in casi estremamente particolari di zone ad alta redditività, mentre avranno grossa diffusione, almeno in una prima fase, soluzioni di tipo **FTTC** con tecnologia di tipo **VDSL** per la copertura dell'ultimo miglio. Le architetture **FTTB** saranno anche esse verosimilmente limitate a casi particolari di zone

altamente urbanizzate e ad alta redditività e le analisi che verranno effettuate nell'ambito del presente lavoro forniranno anche una chiave di lettura di queste probabili scelte.

Le soluzioni FTTH ed FTTB verranno prese comunque in attenta considerazione in quanto importante punto di riferimento come “*target*” di un ragionevole processo di sviluppo nel lungo periodo della rete di accesso in fibra ottica. A proposito di queste due ultime architetture, se il problema del “*cablaggio verticale*”, che convenzionalmente differenzia le architetture FTTH dalle FTTB, può essere considerato un problema “rimandabile” a sviluppi successivi senza che questo influenzi significativamente la banda disponibile nel breve periodo, il campo sul quale invece si andrà a combattere la battaglia tecnologica (ed economica) dell'accesso nei prossimi anni è quello della scelta di topologie P2P piuttosto che topologie PON. Alla base delle scelte che verranno fatte ci sono, oltre ai meri problemi di costo che verranno schematizzati ed analizzati nel seguito, anche e soprattutto problemi di ordine strategico ed industriale, per cui topologie ad accesso “*condiviso*” (tipicamente PON) offrono, a livello di interconnessione tra operatori, maggiori garanzie per il “*proprietario*” della rete rispetto agli operatori che ne richiedono l'uso (con interconnessioni basate su paradigmi di tipo “*bitstream*”), rispetto a topologie “*dedicate*” (tipicamente P2P) in cui sono possibili meccanismi di accesso in “*unbundling*” che consentono anche a chi “*affitta*” la rete di gestire in maniera realmente completa servizi e clienti.

Introduzione

E' noto che le componenti fondamentali di costo con riferimento alla quota capitale, i cosiddetti **CAPEX**, quindi, più correttamente, le componenti di "*investimento*" per la predisposizione di una soluzione FTTx sono quelle relative alla parte "*passiva*" dell'infrastruttura, ovvero alla posa della fibra ottica e, soprattutto, alla realizzazione delle infrastrutture civili necessarie (scavi, lavori edili, cablaggi). Rappresentano una quota minoritaria, con peso estremamente variabile a seconda della architettura scelta, i costi dell'elettronica e degli apparati "*attivi*" in genere.

Nel presente lavoro si cercherà di fornire, per ognuna delle architetture individuate (*FTTH/P2P*, *FTTH/PON*, *FTTB/P2P*, *FTTB/PON*, *FTTC/VDSL*) una stima di massima, in un particolare caso di studio, dei valori di costo, considerando sia gli investimenti (**CAPEX**) appena descritti, sia i costi ricorrenti (**OPEX**), avendo cura di evidenziare i principali parametri di valutazione (sulla base dei quali i risultati possono variare in maniera anche molto significativa) e infine valutando la sostenibilità economica in termini di "*break even*" del progetto di investimento.

Per quanto riguarda lo sviluppo dei vari argomenti, per quanto riguarda la stima degli investimenti necessari per la realizzazione della *componente passiva* (fibra spenta, posa e relative infrastrutture civili), che come detto rappresenta la parte predominante, si farà riferimento al documento "*Un modello semplificato di costo per la rete di accesso passiva in fibra ottica NGAN*" (vedi bibliografia [1]), di cui si darà una rapida descrizione nel paragrafo successivo. Il documento descrive una **metodologia semplificata** per il calcolo del costo dell'infrastruttura passiva sulla base di pochi, semplici parametri ambientali. Ovviamente il modello di calcolo vuole essere estremamente semplificato e volutamente generico per poter essere applicato al caso "medio".

Per quanto riguarda gli investimenti in componenti attive ed elettronica si utilizzeranno valori medi estrapolati da varie fonti e che, per la loro intrinseca volatilità e variabilità (dipendenza dal fornitore, dal tipo di contratto e dai particolari accordi commerciali), potrebbero, in casi reali, assumere valori anche significativamente differenti. Anche i costi ricorrenti verranno stimati sulla base di considerazioni tipiche di contabilità industriale utilizzando riferimenti medi.

L'ultima parte della analisi sarà dedicata alla verifica della sostenibilità economica andando a valutare il valore minimo di ricavo (che può essere tradotto come un canone medio minimo per utilizzatore dato un determinato obiettivo di clientela) in grado di giustificare industrialmente l'investimento ed individuando alcuni indicatori utili per mettere a confronto le diverse soluzioni.

Infine si effettuerà una veloce analisi di sensitività per valutare quanto i risultati possano essere influenzati da variazioni delle ipotesi ambientali o di mercato.

Il modello di calcolo per l'infrastruttura passiva

Come detto, per quanto riguarda la stima dei **costi dell'infrastruttura passiva** si farà uso del modello matematico semplificato descritto nel documento allegato “*Un modello semplificato di costo per la rete di accesso passiva in fibra ottica NGAN*” al quale si rimanda per eventuali approfondimenti. Nel seguito ne verrà data una veloce descrizione, almeno per i punti che interessano il presente lavoro.

Il **modello semplificato** analizza le componenti necessarie per la predisposizione di una rete fissa ottica passiva di accesso in **architettura FTTH**, ovvero per la realizzazione delle infrastrutture necessarie (prevalentemente di carattere civile) per la posa di cavi in fibra ottica che raggiungano le unità immobiliari per le quali viene fornito l'accesso alla rete.

Il modello si riferisce alla sola componente **passiva** della rete di accesso, ovvero a quello che generalmente si indica come “*fibra spenta*” o “*dark fiber*”. In altri termini gli investimenti medi calcolati dal modello sono solo quelli relativi alla “disponibilità” dell'infrastruttura, e non quelli relativi anche agli apparati (che nel seguito verranno indicati generalmente con “elettronica”) necessari all'accensione della fibra per l'erogazione del servizio finale a banda larga o ultra larga.

La rete di accesso passiva in fibra ottica viene semplificata e schematizzata secondo il modello di figura 1.

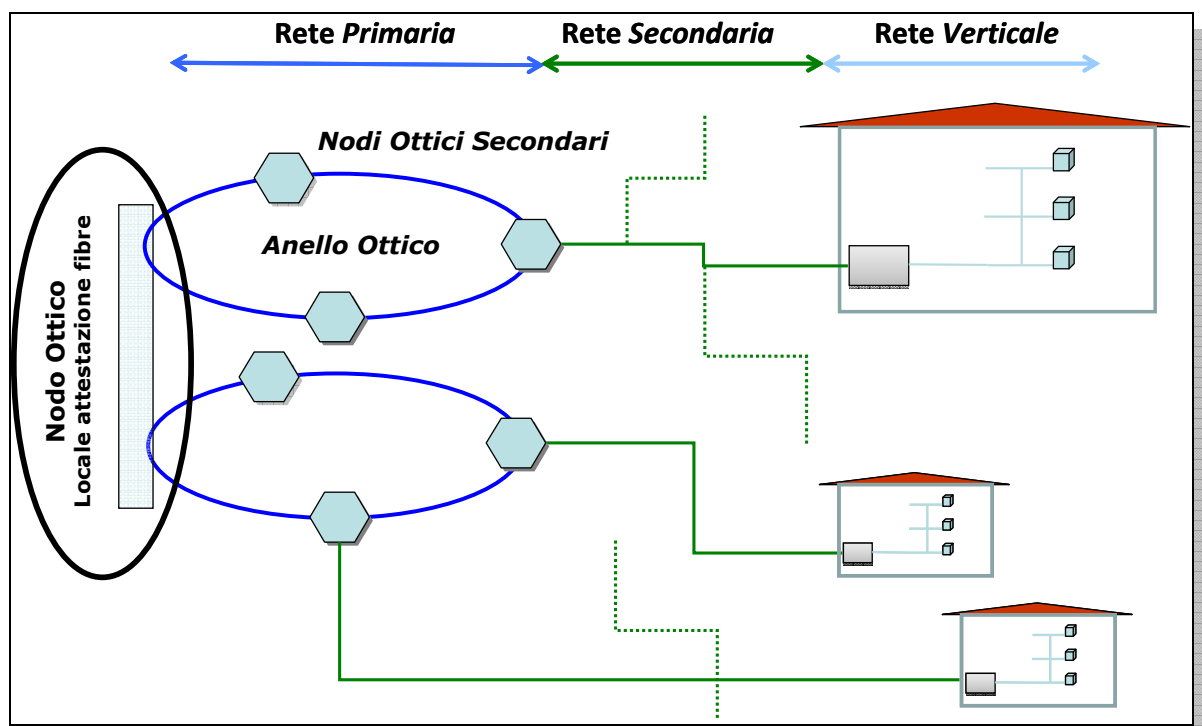


Figura 1 – Il modello della rete di accesso ottica passiva NGAN

Il modello suddivide la rete di **accesso** in tre blocchi principali:

- Rete **primaria**
- Rete **secondaria**
- Rete **verticale**

La “**rete primaria**” è convenzionalmente la porzione di rete in fibra ottica che connette il permutatore ottico presente all’interno del nodo principale dell’operatore che eroga il servizio ai cosiddetti “**nodi ottici**” **secondari** che rappresentano dei punti di spillamento della fibra verso agglomerati di edifici, definiti come “**aree ottiche**”. Il nodo principale viene considerato come il punto di terminazione della rete di **trasporto** a lunga distanza e, conseguentemente, come punto di demarcazione tra questa e la “rete di accesso” oggetto del modello; può essere fatto corrispondere, in linea di massima, agli attuali **Stadi di Linea**.

La rete primaria è generalmente realizzata tramite una struttura ad **anello** al fine di consentire soluzioni tecniche protette a “*doppia via*” ovvero soluzioni che consentano un rapido reinstradamento del traffico nel caso di guasto grave di una sezione trasmissiva. La scelta di una soluzione in doppia via rappresenta evidentemente una soluzione più costosa a fronte di una migliore qualità complessiva garantita alla clientela finale.

La “**rete secondaria**” è la porzione di rete che, partendo dai nodi ottici della rete primaria, raggiunge in maniera capillare i singoli edifici (FTTH/B) con una struttura generalmente ad albero.

Infine la “**rete verticale**” rappresenta la porzione di rete interna all’edificio (building) che consente di raggiungere il singolo cliente nella propria unità immobiliare (u.i.).

Per ognuno dei blocchi individuati il modello identifica i principali parametri che lo caratterizzano al fine di determinarne un valore di investimento unitario medio, necessario per il cablaggio della singola unità immobiliare. In particolare questi parametri possono essere sia descrittivi dello scenario “*ambientale*” (densità abitativa, urbanizzazione), sia di particolari scelte “*tecniche*” (realizzazione di anelli in singola via piuttosto che in doppia via, utilizzo di tecnologie P2P piuttosto che PON, capacità del singolo anello ottico, spaziatura dei pozzetti ecc.), sia di fattori “*esterni*” (per esempio disponibilità di infrastrutture già esistenti ed utilizzabili per la posa della fibra ottica) sia, infine, relativi ai costi unitari degli oggetti necessari alla realizzazione della rete (costi di scavo e di posa, costo del cavo in fibra ottica, costo per le giunzioni ecc.).

Il modello si riferisce ad **un anello ottico** e valuta l’investimento necessario stimato per cablaggio in fibra ottica delle u.i. da questo coperte.

Alcuni parametri sono da considerarsi “*generalì*”, ovvero non relativi ad un particolare blocco, ma tali da caratterizzare le scelte complessive ed il dimensionamento finale.

I parametri generali del modello sono essenzialmente quelli che caratterizzano la tipologia del territorio in termini di urbanizzazione e la capacità del singolo anello ottico, dipendenti, principalmente, dalla capacità del nodo principale:

- **densità** edificato (edifici/kmq)
- **tipologia** edificato (unità immobiliari/edificio)
- **capacità** anello ottico (unità immobiliari/anello)

Per quanto riguarda i primi due parametri, questi dipendono dalla particolare realtà urbanistica in esame. Il terzo parametro può essere stimato, in condizioni normali, tra le 2.500 e le 3.500 unità immobiliari nel caso, rispettivamente, di basso ed alto tasso di urbanizzazione ed è un parametro meramente tecnico legato anche alla capacità degli elementi ed apparati attivi che dovranno poi erogare il servizio.

La **rete primaria** è essenzialmente composta da un **anello** in fibra ottica terminato all’interno del locale di attestazione della fibra (permutatore ottico) all’interno del nodo terminale della rete di trasporto ottica a lunga distanza. L’anello è caratterizzato da un certo numero di **nodi ottici** che rappresentano dei punti di diramazione e di spillamento della fibra verso la rete secondaria di distribuzione. Il nodo ottico può essere anche caratterizzato dalla presenza di altri apparati di telecomunicazione (per esempio la presenza di SRB – Stazioni Radio Base – per l’accesso radiomobile per le quali siano necessarie infrastrutture fisiche di “*backhauling*”).

I parametri che caratterizzano la rete primaria, al fine della valutazione degli investimenti necessari sono:

- **forma e dimensione** dell’anello in fibra ottica
- scelta di architetture **P2P** o **PON**, realizzazione della rete primaria in **singola** o in **doppia** via, numero di aree ottiche per anello
- disponibilità di **infrastrutture esistenti** per la posa di cavo in fibra ottica
- costo unitario per lo **scavo**, per l’affitto delle infrastrutture esistenti e per il cavo in fibra; il modello ipotizza per la rete primaria l’utilizzo di cavi a 144 f.o., considerandone il **valore marginale unitario** per singola f.o. per la valutazione degli

investimenti secondo un modello “LRIC” di costo incrementale di lungo periodo; in altre parole il modello non considera i vincoli imposti dalla modularità dei cavi disponibili commercialmente stimando quindi il limite inferiore del costo

- costi di **giunzione** e di realizzazione dei **pozzetti** per i nodi ottici

Il modello ipotizza per l’anello di rete primaria una generica forma **ellittica** con rapporto tra i semiassi pari a 2. Si ipotizza, inoltre, per considerazioni di simmetria, che la superficie territoriale complessiva coperta dall’anello sia pari a 4 volte quella dell’ellissi.

Data questa semplice modellizzazione geometrica, dai parametri generali è immediato calcolare la superficie interessata e, da questa, la superficie dell’ellissi. Nota poi l’eccentricità dell’ellissi ed essendo

$$S = \pi ab$$

con S pari alla superficie dell’ellissi ed a e b alla lunghezza dei semiassi, è possibile stimare la lunghezza della rete primaria (perimetro dell’ellissi) che risulta pari a

$$P \cong \pi \left(3(a+b) - \sqrt{(3a+b)(a+3b)} \right)$$

Il calcolo dei **costi di scavo** viene effettuato considerando il costo unitario e la sola quota per cui non esiste infrastruttura utilizzabile (per la quale si ipotizza comunque un costo in termini di IRU pluriennale). Per quanto riguarda i costi del cavo e della relativa posa il modello consente di tenere in conto la quota in doppia via (nel qual caso l’intero anello deve essere cablato per ogni fibra necessaria) rispetto a quella in singola via (nel qual caso l’anello deve essere cablato mediamente per 1/4 della sua lunghezza nel caso di distribuzione perfettamente omogenea del sistema). Nel presente lavoro l’anello primario si considererà **sempre in doppia via**. Inoltre deve essere tenuto in conto il fattore di **concentrazione** nel caso di scelta di PON. Nel caso di PON si ipotizzano al massimo **due punti di “splitting”**: uno a livello del building (con concentrazione pari al numero di u.i. per edificio) ed il secondo a livello di nodo ottico secondario, se possibile e con l’unico vincolo per cui il fattore di concentrazione massimo sia pari a **24** (valore cautelativo rispetto ai massimi teorici di 32 o addirittura 64 delle G-PON; nel caso di E-PON il valore va ridotto a 16). Tale ipotesi serve a tenere conto delle inevitabili inefficienze legate alle situazioni topologiche reali.

Infine vanno tenuti in debita considerazione i costi relativi alla terminazione delle fibre ottiche in centrale (comprensive degli oneri legati alle misurazioni ed alle permutte ottiche) ed alla realizzazione dei pozzetti ottici dei nodi primari, comprensivi delle muffole di giunzione.

La **rete secondaria** è la porzione di rete che, diramandosi dai nodi ottici secondari, raggiunge con topologia ad albero i punti terminali della “rete orizzontale”. Nell’ambito del presente lavoro si può ragionevolmente ipotizzare che gli **armadi** coincidano con i nodi ottici secondari e che, pertanto, la rete secondaria sia presente solo nel caso di architetture FTTH/B. Nel caso di architettura FTTC, pertanto, si ipotizzerà che la rete secondaria resti in rame e che all’interno dei “nodi ottici secondari” siano presenti apparati VDSL, verificando che la dimensione massima delle relative aree sottese sia tale da garantire una velocità di accesso di almeno 30Mbps (<400 m).

La struttura di costo, nel caso FTTH, è del tutto simile a quella della rete primaria anche se caratterizzata da una maggiore capillarità.

Due sono le variabili fondamentali che concorrono a determinarne il costo:

- l’estensione
- la tecnologia di scavo o, comunque, il mix di infrastrutture utilizzato

Per quanto riguarda il primo elemento, si è cercato, analogamente a quanto fatto per la rete primaria, di predisporre un modello geometrico che, sulla base dei parametri generali, potesse fornire una indicazione relativa all’estensione della rete. Resta inteso che questo parametro è strettamente legato alla effettiva realtà territoriale e fortemente legato alla densità dell’edificato. Evidentemente una situazione di alta densità degli edifici per unità di superficie riduce notevolmente i costi in quanto limita l’estensione della rete stessa.

Il modello geometrico che si è adottato (modello “reticolare”) presuppone che gli edifici siano distribuiti uniformemente sulla superficie oggetto della copertura, ipotizzata quadrata, e posizionati ai vertici di un reticolo, quadrato anch’esso, interno a tale superficie. La situazione è schematizzata nella figura seguente, in cui si rappresenta la superficie Q da coprire con il quadrato di lato L , al cui interno viene riportato il reticolo quadrato, simmetrico e centrato rispetto al quadrato principale, con elementi di lato l .

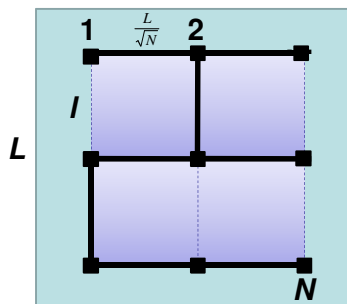


Figura 2 – Modello “reticolare”

Si faccia l'ipotesi, per mera semplicità espositiva, che all'interno della superficie quadrata di lato L ci siano N edifici con N quadrato perfetto. Gli N edifici si andranno a disporre sugli N nodi del reticolo dei quadrati di lato l . Essendo $l = \frac{L}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{Q}{N}}$, una stima dell'estensione necessaria per la rete secondaria, affinché questa attraversi tutti i nodi del reticolo, può essere eseguita, ipotizzando che la rete primaria passi da uno dei nodi del reticolo, attraverso la seguente relazione:

$$K = (N - 1) \sqrt{\frac{Q}{N}}$$

Per quanto riguarda invece la tecnologia di scavo, in considerazione della capillarità della rete secondaria, è ipotizzabile l'utilizzo di una delle seguenti tecniche:

- microtrincea / one day dig
- utilizzo di palificazione esistente per la posa di fibra aerea, generalmente utilizzando la fune di guardia nel caso di palificazione elettrica
- utilizzo di infrastrutture esistenti attraverso contratti di IRU pluriennali

Infine la **rete verticale** è la porzione di rete, tipica di una architettura FTTH, che consente di raggiungere il singolo utilizzatore finale all'interno della propria abitazione.

Gli elementi principali di costo sono legati ad alcune voci legate a lavori comuni sull'edificio (tipicamente l'ingresso dal pozzetto stradale all'interno dell'edificio e gli apparati comuni, nella fattispecie uno splitter nel caso di architettura PON) configurabili quindi come voci di costo "fisse" se messe in relazione con le unità immobiliari appartenenti all'edificio, ed altre evidentemente riferite al cablaggio di ogni singola unità immobiliare (tipicamente la canalizzazione e le opere murarie necessarie per raggiungere la terminazione ottica di linea all'interno della abitazione dell'utilizzatore finale.

Non è possibile una modellizzazione generale della rete verticale se non considerando i due blocchi di costo sopra definiti; i costi unitari hanno una variabilità enorme dipendente sia dal singolo edificio (architettura dell'edificio, disponibilità di canalizzazioni o intercapedini ecc.), sia dalla collocazione dell'edificio e dai relativi prezzi di mercato per le opere murarie. Nel prosieguo si farà riferimento ad uno standard di costo unitario estremamente generale.

Le componenti attive

Le **componenti attive** sono rappresentate da tutta quella “*elettronica*” necessaria per accendere la fibra e fornire il servizio di connettività e di accesso agli utilizzatori finali.

Come per la parte passiva, si procederà ad una semplificazione, considerando solamente le voci principali che andranno a comporre il costo finale.

Nel caso di architetture **FTTH** le uniche componenti attive si troveranno, rispettivamente, nella centrale (nodo ottico) dell’operatore, immediatamente prima del permutatore ottico, ed a casa dell’utilizzatore finale. Si differenzieranno, evidentemente, nel caso di PON e P2P. In particolare, lato cliente, le CPE potranno essere dei semplici *router* nel caso di topologie P2P, piuttosto che delle ONU/ONT, leggermente più complesse, nel caso di PON. Analogamente, lato operatore, gli apparati in centrale possono essere assimilati a porte Gb-Ethernet nel caso di architetture P2P o ad apparati OLT nel caso di PON. Anche in questo caso l’apparato OLT risulta più complesso della singola porta Ethernet, ma, essendo un apparato condiviso, se ne ottiene un costo unitario e, soprattutto, una occupazione in centrale inferiore se rapportata al numero di utilizzatori.

Nel caso di architetture FTTB, restano di fatto invariate le componenti ottiche, con l’aggiunta, però, di apparati in grado di coprire la tratta verticale. A tale proposito le soluzioni sono molteplici, ma in questo ambito si ipotizzerà l’utilizzo di un apparato **VDSL** all’interno dell’edificio e l’uso dell’infrastruttura in rame esistente per la tratta verticale. Il passaggio ottico/elettrico a carico dell’operatore comporterà un leggero aggravio dei costi dell’elettronica a fronte del mancato investimento in infrastrutture verticali in fibra ottica, sicuramente più costose e di maggiore complessità realizzativa, tipiche dell’architettura FTTH.

Nel caso, infine, di architetture **FTTC**, l’architettura ottica si suporrà invariata fino ai nodi ottici secondari del modello semplificato, convenzionalmente coincidenti con gli armadi ripartilinea, con **mini DSLAM VDSL** posti all’interno degli armadi stessi per la copertura dell’ultimo miglio. Si ipotizzerà una struttura di tipo PON per il raggiungimento degli armadi, ovvero si considererà un numero ridotto di fibre in primaria, per una eventuale evoluzione PON FTTB/H, più naturale partendo da una architettura FTTC, piuttosto che P2P.

Per quanto riguarda le CPE, nel seguito del lavoro si farà l'assunzione che il costo del router o dell'ONU/OLT e della relativa alimentazione sia **a carico dell'utilizzatore** finale, e che, pertanto, i costi di tali apparati non ricadranno tra quelli che l'operatore dovrà direttamente sopportare.

Nella tabella seguente vengono riportati gli standard di costo che verranno utilizzati per i calcoli successivi e la stesura del business plan.

<i>Tipologia</i>	<i>Standard di costo</i>
Porta 1Gb-Ethenet	120 €
Porta OLT Standard	1.000 €
Mini DSLAM VDSL 24 porte	1.500 \$
<i>Router P2P*</i>	100 €
<i>ONT/ONU PON*</i>	115 €

(*) a carico dell'utilizzatore

Tabella 1 – Standard di costo componenti “attive”

In un'ottica **incrementale** si considereranno i costi unitari per porta nell'ipotesi di un **utilizzo ottimale degli apparati** con un rapporto di concentrazione per PON pari a 1:24. Come detto, l'utilizzo di un valore medio non ottimale (che potrebbe essere 32 o addirittura 64 nel caso di G-PON) serve a compensare le inevitabili e prevedibili inefficienze legate alle particolari situazioni che nella realtà si andranno a verificare. Si suppone inoltre che il costo degli apparati in centrale contengano già la stima relativa alla quota di occupazione all'interno dei *rack*.

Sulla base di tali ipotesi, il costo unitario per unità immobiliare cablata (per cliente nel caso di apparati dedicati o nel caso di apparati a condivisione statistica come per esempio le porte VDSL in sede di armadio) si riduce a:

<i>Tipologia</i>	<i>Costo unitario</i>
Porta 1GbE P2P lato operatore (FTTH/B)	120 €/cliente
Porta OLT PON lato operatore (FTTH/B/C)	~42 €/u.i.
Porta VDSL (FTTB)	~48 €/u.i.
Porta VDSL (FTTC)	~48 €/cliente

Tabella 2 – Standard di costo unitario componenti “attive”

I costi ricorrenti

Per quanto riguarda i costi **ricorrenti** (OPEX) questi sono essenzialmente riconducibili alle seguenti categorie:

- costi legati al **consumo energetico**
- costi legati all'esercizio e manutenzione delle infrastrutture e degli apparati (**O&M**)
- costi di **struttura** (costi del personale, costi amministrativi)

Il problema del consumo energetico degli apparati TLC è da tempo al centro dell'attenzione al fine di ridurre al minimo i consumi ed il relativo impatto ambientale. I progetti “*green ICT*” iniziano ad avere larghissima diffusione e stanno consentendo di progettare e realizzare impianti con efficienza energetica sempre maggiore. Non essendo argomento del presente lavoro, nel seguito non si considereranno, a livello di business plan, gli eventuali benefici relativi all’*“efficientamento”* dei sistemi, sia in termini diretti, ovvero di risparmio energetico, che di tipo indiretto, come per esempio la possibilità di richiedere l'emissione di certificati “*bianchi*”, ma è certo che una delle principali attività della ricerca e sviluppo nei prossimi anni sarà quella incentrata sul raggiungimento di obiettivi importanti da questo punto di vista. Nel seguito si considereranno fissi nel tempo gli standard di consumo ipotizzati per i vari apparati sulla base dell'attuale stato dell'arte.

Per quanto riguarda le architetture FTTx le maggiori criticità in termini di energia sono legate, oltre che al rapporto di concentrazione per una topologia PON, al passaggio *elettrico/ottico* ed *ottico/elettrico* nelle tecnologie ibride che prevedono l'utilizzo del rame per l'ultimo miglio o per la tratta verticale; un sistema ottico completamente “*trasparente*” in fibra ottica *end-to-end* rappresenta infatti, per sua natura, un sistema a basso consumo: la potenza è limitata e confinata in guida d'onda e le perdite termiche sono trascurabili rispetto a sistemi elettrici o elettronici. Dai dati a disposizione, la criticità maggiore, nelle architetture in esame, è legata proprio all'utilizzo di apparati VDSL (utilizzati nelle architetture FTTB e FTTC) per i quali, comunque, lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha già portato, rispetto agli apparati di vecchia generazione, ad una notevole riduzione dei consumi.

Per quanto riguarda il consumo degli apparati ottici è intuitivo come la topologia PON garantisca un costo unitario inferiore a quello di una topologia P2P con il crescere del numero di utenti coperti dallo *splitter*. Lato utente le CPE per una architettura PON sono più complesse, in quanto devono gestire la condivisione del canale comune, e risultano pertanto generalmente più

costose. Come detto, non ne verrà considerato l'impatto a livello di business plan per l'operatore ed i costi si supporranno a carico del cliente..

Per quanto riguarda i **consumi energetici** si faranno le seguenti assunzioni, basate sull'analisi di valori medi ottenuti dal confronto di alcuni studi disponibili in letteratura:

<i>Tipologia</i>	<i>Standard consumo</i>
Consumo mensile porta OLT/PON	14,4 kWh
Consumo mensile porta 1GbE (P2P)	1,08 kWh
Consumo mini DSLAM VDSL 24 porte	55W

Tabella 3 – Consumi componenti “attive”

Si noti che utilizzando porte 10GbE i consumi per una architettura P2P possono crescere anche fino ad un ordine di grandezza.

Ipotizzando, come detto, un valore medio di splitting per PON pari a 24, normalizzando tutti i valori sopra riportati alla singola porta e considerando un costo unitario del kWh pari a 0,16 € si ottiene, in definitiva:

<i>Tipologia</i>	<i>Consumo energetico</i>	<i>Costo unitario</i>
Porta OLT/PON	7,2 kWh/anno	1,2 €/anno
Porta 1GbE P2P	13,0 kWh/anno	2,1 €/anno
Porta VDSL	20,1 kWh/anno	3,2 €/anno

Tabella 4 – Componenti “attive”: consumi unitari

A questi vanno aggiunti i costi di energia per il **condizionamento** ed il funzionamento degli ambienti in centrale. Convenzionalmente questo valore viene stimato moltiplicando per un opportuno coefficiente il consumo di esercizio degli apparati. Questo coefficiente è generalmente compreso tra 1,2 per sistemi estremamente efficienti fino ad arrivare a valori superiori a 2 al crescere delle perdite. Nel seguito si utilizzerà il valore di 1,5 come riferimento convenzionale per analisi di questo tipo per indicare un sistema di buona efficienza.

Generalmente per quanto riguarda i costi di *esercizio e manutenzione* nell'ambito di valutazione di business plan, questi vengono stimati come valore percentuale dei CAPEX differenziando tale valore sulla base della tipologia di apparato/impianto, della relativa guastabilità valutata spesso sulla base di serie storiche note e del ciclo di vita degli apparati stessi. Si tratta

anche in questo caso di una stima estremamente approssimata e fortemente dipendente dalle particolari condizioni di servizio nel caso reale, ma funzionale a fornire una indicazione del peso specifico delle componenti di costo sul business plan complessivo.

I dati riportati nel seguito rappresentano una stima di massima basata sull'esperienza per singola tipologia di apparato e/o infrastruttura.

Tipologia	Standard di costo ricorrente annuale
Manutenzione infrastruttura civile	2% capex
Manutenzione f.o.	4% capex (fibra + posa)
Manutenzione apparati ottici	12,5% capex
Manutenzione mini DSLAM VDSL	20% - 33% capex (FTTB - FTTC)

Tabella 5 – Standard di costo per il calcolo delle componenti O&M

Il valore relativo ai mini DSLAM VDSL tiene conto del fatto che trovandosi, in architettura FTTC, in ambiente quasi libero (armadio), possono essere soggetti a maggiore tasso di guastabilità.

Per quanto riguarda i *costi di struttura*, questi sono generalmente legati alla particolare organizzazione dell'azienda/operatore. Ogni servizio offerto deve coprire con il suo margine di contribuzione (definito come differenza tra i ricavi ed i costi direttamente imputabili al venduto) oltre agli investimenti (ripartiti secondo le opportune regole di "ammortamento" di lungo periodo) anche tutti i costi che l'azienda sostiene per auto-mantenere la propria struttura. Ogni azienda ha propri metodi di attribuzione di tali costi al singolo progetto, che possono andare dalla valutazione specifica del singolo progetto (per esempio basandosi sul concetto di "ore-uomo" che, a loro volta, vengono valutate sulla base dei profili professionali definiti nella contabilità industriale ed utilizzati all'interno del progetto) oppure a meccanismi basati su medie-obiettivo. Nel nostro caso, per semplicità, ci baseremo su un macro indice di questo secondo tipo desumibile dal bilancio 2011 di Telecom Italia S.p.A. ([3]) andando a valutare a livello macro-aziendale la percentuale dei costi del personale e dei costi operativi non ascrivibili al venduto rispetto al valore di fatturato.

Basandosi quindi sul conto economico separato (non consolidato) 2011 di Telecom Italia, questo indice può essere stimato come segue (i valori riportati sono espressi in Mld di euro):

$$\frac{\text{Costi}_{\text{ Personale}} + \text{Costi}_{\text{ Operativi}}}{\text{Fatturato}} = \frac{2,638 + 0,704}{18,045} = 18,5\%$$

Analisi economica di scenario: valutazione di costi ed investimenti

Per quanto detto è facilmente prevedibile che i risultati di un'analisi economica reale dei costi di un progetto FTTx dipenderanno in maniera determinante dalle particolari condizioni al contorno di quel particolare progetto.

L'analisi che verrà condotta presupporrà, quindi, un determinato ipotetico scenario (scenario "base"), che si cercherà di individuare come uno dei più probabili attraverso la quantificazione dei parametri di modello che vengono riportati in tabella e di seguito brevemente descritti.

<u>Parametri ambientali</u>	
Densità urbanizzazione:	131,5 edifici/kmq
Tipologia urbanizzazione:	9,2 u.i./edificio
Area "verde":	~9%
<u>Parametri tecnici/architetturali</u>	
Nodo Ottico: copertura	3.500 u.i.
Nodi ottici secondari per anello	20
Doppia via	Si
Numero edifici per pozzetto stradale	4,0
Fattore splitting (PON)	~24
<u>Parametri di costo unitario</u>	
Scavo tradizionale	60.000 €/km
Microtrincea/One Day Dig	28-30.000 €/km
Infrastrutture esistenti (IRU)	~12.000 €/km
Cavo (144 f.o.) e posa	5.000 €/km
Cavo (96 f.o.) e posa	4.500 €/km
Cavo aereo (48 f.o.) e posa	5.000 €/km
Costo pozzetto	600 €
Costo muffola ed apparati di giunzione	500 €
Costo terminazione ottica al permutatore	40 €
<u>Ipotesi di lavoro</u>	
Riutilizzo infrastrutture esistenti rete primaria	20%
Riutilizzo infrastrutture esistenti rete secondaria	18%
Utilizzo palificazioni esistenti rete secondaria	10%
Microtrincea/One Day Dig rete secondaria	72%

Tabella 6 – Standard di costo usati nel modello per la stima della componente "passiva"

Per quanto riguarda i **parametri ambientali**, i valori scelti relativi alla *densità e tipologia di urbanizzazione* sono quelli *medi dei Comuni di Roma e Milano*. Ci si pone quindi in una situazione piuttosto favorevole per un eventuale investitore poiché i costi unitari saranno caratterizzati dalla particolare condizione di alta densità abitativa. Di questo si dovrà tenere conto nell'analisi dei risultati finali. Gli effetti sui costi in un caso meno favorevole saranno comunque successivamente

valutati attraverso una analisi di sensitività, ma già le analisi condotte in [1] evidenziano come in zone meno urbanizzate, seppure ancora lontane dal poter essere considerate “rurali”, i costi raggiungano anche il triplo di quelli valutati in uno scenario favorevole.

I **parametri tecnici** sono quelli descritti in precedenza e fondamentalmente riconducibili alla scelta della doppia via integrale per la rete primaria, alla spaziatura tra i pozzetti ed al fattore di splitting nel caso di PON. Per quanto riguarda le uscite del modello, il fatto che la dimensione massima lineare stimata per l’area ottica sottesa da un singolo nodo ottico secondario sia inferiore a 400 m, come riportato nel seguito, autorizza ad utilizzare il modello, nato principalmente per la stima di costo di architetture FTTH, anche per architetture FTTC considerando in questo caso la rete secondaria completamente assente, in quanto realizzata in VDSL su rame esistente. In questo caso verrà solo considerata una componente aggiuntiva di circa 2.500 € per ogni nodo ottico secondario per tenere conto dei lavori per la predisposizione delle *infrastrutture accessorie* necessarie per ospitare negli armadi gli apparati VDSL e per garantire la loro *alimentazione*; la componente aggiuntiva è comunque trascurabile rispetto ai costi di scavo e posa della fibra.

I **parametri di costo unitario** per scavi, fibra ottica e relativa posa, sono dei valori medi di mercato, mentre il costo di *riutilizzo di infrastruttura esistente* è stato ipotizzato pari a valori tipici di accordi di IRU per l’acquisto temporaneo di diritti d’uso anche se con “riutilizzo” non necessariamente si intende il ricorso ad accordi di IRU. In ogni caso il costo nel caso di riutilizzo di infrastruttura esistente è ipotizzato essere pari a circa 1/5 del costo per uno scavo tradizionale ed a meno della metà del costo per una microtrincea. Infine l’ipotesi relativa all’*utilizzo delle differenti tecniche di scavo e posa* è una semplice ipotesi di lavoro basata esclusivamente sulla ragionevolezza.

Sulla base di questi parametri, il modello fornisce in uscita una serie di grandezze tecniche e la relativa valorizzazione.

In particolare la superficie coperta dal Nodo Ottico è pari a circa **2,9 Kmq**, la rete primaria ha una estensione lineare stimata di circa **3,5 km**, la rete secondaria di circa **30 km** con una estensione lineare massima della singola area ottica stimabile in circa **400 m** (compatibile, quindi, con l’uso di tecnologia VDSL dal nodo ottico secondario). A seconda del tipo di topologia scelta (P2P, PON, scelta di singola o doppia via nella primaria) il modello calcola il numero di fibre necessarie ed i relativi costi di posa. Diminuendo la densità di urbanizzazione, a parità degli altri parametri, aumentano evidentemente le dimensioni dell’anello primario e quelle della rete secondaria, e, di conseguenza, i costi complessivi.

Le tabelle che seguono riassumono le risultanze per una architettura FTTH, con le relative ripartizioni tra le varie componenti, confermando che la voce principale del costo è quella relativa a scavi ed opere civili in cui la voce di cablaggio verticale, discriminante per una scelta FTTH/FTTB, è decisamente rilevante.

Investimenti (FTTH/P2P)	%	Investimento (eur)	Investimento Unitario (eur/u.i.)	Investimenti (FTTH/PON)	%	Investimento (eur)	Investimento Unitario (eur/u.i.)
Scavi	30,6%	786.582	225	Scavi	40,1%	786.582	225
di cui Primaria	6,1%	157.780	45	di cui Primaria	8,0%	157.780	45
di cui Secondaria	24,4%	628.803	180	di cui Secondaria	32,0%	628.803	180
IRU (Riutilizzo Infrastrutture)	4,3%	111.407	32	IRU (Riutilizzo Infrastrutture)	5,7%	111.407	32
di cui Primaria	0,3%	8.086	2	di cui Primaria	0,4%	8.086	2
di cui Secondaria	4,0%	103.320	30	di cui Secondaria	5,3%	103.320	30
Fibra Ottica	20,9%	537.558	154	Fibra Ottica	1,9%	36.720	10
di cui Primaria	15,5%	399.472	114	di cui Primaria	1,1%	21.710	6
di cui Secondaria	5,4%	138.086	39	di cui Secondaria	0,8%	15.009	4
Apparati e giunzioni	8,9%	229.054	65	Apparati e giunzioni	6,1%	120.326	34
di cui Primaria	5,8%	150.000	43	di cui Primaria	0,9%	17.609	5
di cui Secondaria	1,8%	47.554	14	di cui Secondaria	2,4%	47.554	14
di cui Verticale	1,2%	31.500	9	di cui Verticale	2,8%	55.163	16
Opere edili, murarie e cablaggi	35,3%	908.304	260	Opere edili, murarie e cablaggi	46,3%	908.304	260
di cui Primaria	0,5%	12.000	3	di cui Primaria	0,6%	12.000	3
di cui Secondaria	2,2%	57.065	16	di cui Secondaria	2,9%	57.065	16
di cui Verticale	32,6%	839.239	240	di cui Verticale	42,7%	839.239	240
TOTALE	100,0%	2.572.906	735	TOTALE	100,0%	1.963.339	561

Tabelle 7a, 7b: Output del modello semplificato di costo per la componente "passiva"

Il modello può essere facilmente adattato ad architetture FTTB semplicemente *non considerando la componente di cablaggio verticale* ed ad architetture FTTC *non considerando la rete secondaria*. In entrambi i casi si ipotizza la presenza di apparati VDSL (di dimensione eventualmente differente) nel primo caso all'interno del "building", nel secondo all'interno dell'armadio (convenzionalmente fatto coincidere con il "nodo ottico secondario" dell'architettura FTTH). Sotto queste ipotesi i costi relativi ad ognuna delle architetture di interesse sono quelli riportati nel seguito.

	FTTH P2P	FTTH PON	FTTB P2P	FTTB PON	FTTC
CAPEX per u.i. cablata					
Scavi e Lavori Civili	€ 516	€ 516	€ 267	€ 261	€ 65
Fibra Ottica	€ 219	€ 45	€ 219	€ 45	€ 11
Totale infrastruttura passiva	€ 735	€ 561	€ 486	€ 305	€ 76
Elettronica	€ -	€ 42	€ 48	€ 90	€ 42
Totale	€ 735	€ 603	€ 534	€ 395	€ 118
CAPEX per cliente					
Elettronica	€ 120	€ -	€ 120	€ -	€ 48
OPEX per u.i. cablata					
Energia	€ -	€ 2	€ 5	€ 7	€ 2
O&M	€ 19	€ 17	€ 24	€ 22	€ 12
Totale	€ 19	€ 19	€ 29	€ 28	€ 14
OPEX per cliente					
Energia	€ 3	€ -	€ 3	€ -	€ 5
O&M	€ 15	€ -	€ 15	€ -	€ 16
Totale	€ 18	€ -	€ 18	€ -	€ 21

Tabella 8: Riepilogo dei costi stimati (CAPEX ed OPEX) per architettura/topologia

Si ricorda che, lavorando l'intero modello in ottica incrementale e non essendo considerate le eventuali inefficienze legate agli sfridi da modularità commerciale (per esempio dimensione minima dei cavi, piuttosto che porte inutilizzate nel mini DSLAM) le stime di costo sono in condizioni "ottimali".

Inoltre è importante notare come la totalità dei costi delle infrastrutture passive siano indipendenti dall'effettiva clientela, ma dipendano solamente dal numero di unità immobiliari cablate. Per l'elettronica questo è vero solamente nel caso di infrastrutture condivise non in maniera statistica: per esempio nel caso di PON i costi dell'elettronica in centrale sono indipendenti dal numero di clienti effettivi e legati al numero di unità immobiliari cablate, mentre i mini DSLAM VDSL negli armadi in una architettura FTTC possono ragionevolmente essere considerati proporzionali al numero di clienti attivi potendo lavorare sulla condivisione statistica dei clienti. Diversa la situazione relativa ad apparati VDSL nel "building" per i quali, considerata la loro modularità, è lecito ipotizzare una dipendenza dal numero di unità immobiliari cablate.

Fatte queste doverose precisazioni, la tabella riassume le principali voci relative a costi (OPEX) ed investimenti (CAPEX), specificandone la proporzionalità, rispettivamente, con le unità immobiliari cablate oppure con la clientela attiva.

Sono evidenti le differenze tra una scelta P2P ed una PON e tra una scelta FTTH ed una FTTB. La soluzione FTTC garantisce costi inferiori all'80% rispetto alla soluzione "massima" di riferimento FTTH/P2P. Di fatto la soluzione FTTC, per il modello semplificato e nelle ipotesi di lavoro descritte precedentemente, non consiste in nient'altro che nel cablare in fibra ottica circa 3,5 km di tracciato interconnettendo gli armadi con una topologia ad anello, con possibile riutilizzo di infrastrutture esistenti e con un leggero aggravio legato ai lavori necessari per la necessità di fornire alimentazione agli armadi. Va sottolineato come il modello, nella sua semplicità, non consideri eventuali lavori di ristrutturazione completa degli armadi (spostamento, protezione o predisposizione di nuove strutture come per esempio nella architettura FTTS – *fiber to the street*, strutturalmente assimilabile ad una architettura FTTC – che prevede la costruzione di un secondo armadio, talvolta interrato, da parte di un operatore alternativo accanto all'armadio esistente) che potrebbero in certi casi appesantire il costo anche se, verosimilmente, non in maniera così sensibile da modificare le conclusioni generali. Appare quindi evidente la ragione principale per cui la maggior parte degli operatori stiano orientando i propri piani verso strutture di questo tipo, almeno come primo passo di quel percorso di sviluppo delle reti che dovrà portare alla NGAN di lungo termine.

Analisi economica di scenario: sostenibilità

Per valutare la sostenibilità dell'investimento si andrà ad abbozzare lo scheletro di un business plan in cui, considerati i costi calcolati ai punti precedenti, sulla base di semplici parametri finanziari si individuerà una stima del *break-even* (tempo di rientro dell'investimento, espresso in anni) e del *peak funding* (massimo sforzo finanziario richiesto, espresso in euro per unità immobiliare cablata).

L'analisi viene condotta in maniera estremamente semplificata, considerando l'intero progetto a sé stante e non come alternativa ad una situazione esistente. In altre parole non verranno condotte analisi differenziali, che presupporrebbero la conoscenza di una situazione reale preesistente o di equivalenti alternative industriali, ma il progetto verrà considerato come se fosse una nuova realizzazione.

Si consideri che sempre più difficilmente un gruppo industriale affronta investimenti con un piano di rientro di lungo periodo; già progetti con un *break even* superiore a 3 anni sono considerati, attualmente, ad alto rischio, per le incertezze di un mercato che, al crescere dell'orizzonte temporale, diventa sempre più difficile da prevedere nelle sue evoluzioni tecnologiche, economiche e finanziarie. E' evidente che nel caso di una infrastruttura di nuova generazione 3 anni sia un valore irragionevole, ma sulla base di semplici considerazioni sarà chiaro perché la soluzione FTTC rappresenti, in questo particolare momento di turbolenza finanziaria ed in condizioni di estrema incertezza, la soluzione che dia più garanzie nel breve termine.

Per la predisposizione dei calcoli vengono fatte le seguenti macro-assunzioni di tipo finanziario:

- **WACC** pari al 5%;
- correttivo legato all'**inflazione** pari al 2% per anno; si ipotizza che la riduzione delle tariffe per il cliente finale assorba esattamente il correttivo lato ricavi che quindi vengono mantenuti costanti nell'arco di piano;
- **ramp-up** per il raggiungimento dell'obiettivo di penetrazione (numero di clienti / numero di u.i. cablate) lineare e pari a **8 anni** (obiettivo raggiunto linearmente in 8 anni).

Si noti che tali assunzioni, in valore assoluto, possono influenzare i risultati in maniera anche molto sensibile; quello che si intende analizzare di seguito è la differenza tra le diverse scelte architetturelle a parità di ipotesi.

I due gradi di libertà rimasti per stimare i ricavi di periodo sono:

- **canone unitario** per cliente;
- coefficiente di **penetrazione** (numero clienti / numero u.i. nel lungo periodo).

Per quanto riguarda il secondo parametro, si assume che il valore di riferimento sia quello che la UE stabilisce come obiettivo al 2020, ovvero di avere il **50% delle famiglie abbonate** a servizi a banda ultra-larga a 100Mbit/s.

Per quanto riguarda invece il primo parametro gli operatori dovranno confrontarsi con quanto la clientela sarà disposta a pagare in più per un accesso a banda ultra-larga rispetto a quanto oggi disponibile, considerando che ormai il valore di mercato per un accesso a **20Mbit/s** è pari a circa **20-25 euro al mese**.

E' chiaro quindi che per un accesso basato su tecnologia VDSL, che difficilmente potrà promettere velocità reali superiori ai **30-50 Mbit/s**, non si possa ragionevolmente pensare a canoni superiori ai **35-40 euro al mese**. Ma l'investimento iniziale per una architettura FTTC, effettivamente molto limitato, consente, come evidente dalla tabella seguente, in cui è stato considerato un canone mensile per il cliente di **40 €**, di avere un break-even sufficientemente vicino (circa **4 anni**) e tale da rendere sostenibile il progetto anche in un momento di contrazione economica come quello attuale, considerando anche un valore di *peak funding* decisamente inferiore a quello delle altre soluzioni. I dati sono presentati nella tabella che segue con riferimento alla singola u.i. cablata.

Anno (€/u.i. cablata)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento	(118)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)							
Costi Energia e O&M		(16)	(17)	(19)	(21)	(23)	(24)	(26)	(28)	(29)	(30)	(30)	(31)	(31)	(32)	(33)
Costi Amministrativi		(6)	(11)	(17)	(22)	(28)	(33)	(39)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)
Ricavi		30	60	90	120	150	180	210	240	240	240	240	240	240	240	240
Cash Flow	(118)	6	29	51	74	97	119	142	164	167	166	165	165	164	164	163
Cash Flow Attualizzato	(118)	6	26	44	61	76	89	101	111	107	102	97	92	87	83	78
VAN Cumulato	(118)	(112)	(86)	(42)	19	95	184	285	396	503	605	702	793	880	963	1.041

Tabella 9: architettura FTTC

Differente, e già al limite della sostenibilità è uno scenario FTTB/PON in cui il break-even si sposta di qualche anno, pur restando in un orizzonte ragionevole.

Anno (€/u.i. cablata)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento	(395)															
Costi Energia e O&M		(29)	(30)	(30)	(31)	(31)	(32)	(33)	(33)	(34)	(35)	(35)	(36)	(37)	(37)	(38)
Costi Amministrativi		(6)	(11)	(17)	(22)	(28)	(33)	(39)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)
Ricavi		30	60	90	120	150	180	210	240	240	240	240	240	240	240	240
Cash Flow	(395)	(4)	19	43	67	91	115	139	162	162	161	160	160	159	158	157
Cash Flow Attualizzato	(395)	(4)	18	37	55	71	86	98	110	104	99	94	89	84	80	76
VAN Cumulato	(395)	(399)	(382)	(345)	(289)	(218)	(132)	(34)	76	180	279	373	462	546	626	701

Tabella 10: architettura FTTB/PON

Una soluzione di tipo FTTH/PON risulta ancora più rischiosa, nonostante la scelta di una topologia condivisa come la PON, con un break-even che si sposta ulteriormente:

Anno (€/u.i. cablata)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento	(603)															
Costi Energia e O&M		(19)	(20)	(20)	(21)	(21)	(21)	(22)	(22)	(23)	(23)	(24)	(24)	(25)	(25)	(26)
Costi Amministrativi		(6)	(11)	(17)	(22)	(28)	(33)	(39)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)
Ricavi		30	60	90	120	150	180	210	240	240	240	240	240	240	240	240
Cash Flow	(603)	5	29	53	77	101	125	149	173	173	172	172	171	171	170	170
Cash Flow Attualizzato	(603)	5	26	46	63	79	93	106	117	111	106	101	95	91	86	82
VAN Cumulato	(603)	(598)	(571)	(526)	(462)	(383)	(289)	(183)	(66)	45	151	252	347	438	524	606

Tabella 11: architettura FTTH/PON

Si noti, però, che in questo caso, e in quello precedente, è ipotizzabile un aumento del canone mensile, visto che la soluzione consente di raggiungere sicuramente velocità di bit (100 Mbit/s) di quasi un ordine di grandezza superiori alle attuali. Ma in questo caso diventa essenziale l'elasticità della domanda e potrebbe diventare a rischio il raggiungimento del tasso di penetrazione obiettivo, ovvero il 50% delle u.i. cablate come effettivi sottoscrittori, obiettivo fissato dalla UE già di per sé molto sfidante. Pertanto l'aumento del canone potrebbe essere compensato da un tasso di penetrazione inferiore o da un ramp-up più lento.

Architetture del tipo FTTH/P2P, pur rappresentando l'ottimo da un punto di vista evolutivo, hanno tempi di rientro ancora superiori, a meno di non alzare sensibilmente il canone di accesso con tutti i relativi rischi di risposta da parte del mercato. La simulazione, a parità di condizioni (compreso il canone per il cliente) viene riportata nella tabella seguente.

Anno (€/u.i. cablata)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento	(735)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)							
Costi Energia e O&M		(21)	(22)	(24)	(26)	(27)	(29)	(31)	(33)	(34)	(34)	(35)	(36)	(36)	(37)	(38)
Costi Amministrativi		(6)	(11)	(17)	(22)	(28)	(33)	(39)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)
Ricavi		30	60	90	120	150	180	210	240	240	240	240	240	240	240	240
Cash Flow	(735)	(4)	19	42	65	87	110	133	155	162	161	161	160	159	158	158
Cash Flow Attualizzato	(735)	(3)	17	36	53	69	82	94	105	104	99	94	89	84	80	76
VAN Cumulato	(735)	(739)	(721)	(685)	(632)	(563)	(481)	(387)	(282)	(177)	(78)	16	105	189	269	345

Tabella 12: architettura FTTH/P2P

Non va dimenticato che tutte le analisi si riferiscono ad uno scenario **particolarmente favorevole in termini di urbanizzazione**, con costi relativamente contenuti per raggiungere un numero considerevole di u.i. e clienti potenziali. Già in situazioni meno favorevoli, ancorché non completamente "rurali", i costi aumentano in maniera notevole (fino a 3 volte per i lavori di scavo e posa) e pertanto la sostenibilità delle diverse soluzioni ne risente ancora più negativamente. Va inoltre sottolineato come l'analisi sia stata condotta facendo assunzioni molto esemplificative della realtà che, in certi casi, sono determinanti per il risultato finale (per esempio l'assunzione del "costo

zero” per la rete in rame, l’approssimazione di costo incrementale per apparati modulari o la stima relativa al riutilizzo di infrastrutture esistenti).

Ciononostante le differenze in termini di *peak funding* e *break even* tra le diverse soluzioni sono nette ed il confronto relativo tra esse è abbastanza indipendente da molte delle assunzioni fatte, pur potendo queste influire in maniera determinante sui rispettivi valori assoluti.

Analisi di sensitività

Per completare l'analisi, si è proceduto con uno studio di sensitività del modello di calcolo ai diversi parametri. In particolare, si è voluto valutare quantitativamente l'impatto che la variazione di alcuni parametri può avere sul business plan. Anche in questo caso si è proceduto con una analisi di tipo semplificato in due singoli passi: individuazione dei parametri ritenuti fondamentali (sulla base della loro variabilità e del presunto peso sui risultati dell'analisi) e riapplicazione dell'intero algoritmo di calcolo utilizzando valori "estremi" per i parametri così individuati. L'analisi è stata condotta su un'unica dimensione, ovvero mantenendo inalterati tutti gli altri parametri e variandone uno alla volta. Una analisi multidimensionale, basata per esempio su metodi di tipo "Montecarlo" avrebbe potuto fornire elementi utili sugli effetti incrociati, ma si ritiene sufficiente procedere con una analisi di primo livello, semplicemente per dimostrare come alcuni parametri, principalmente quelli ambientali, abbiano effetti notevoli sui risultati rispetto allo scenario "base" analizzato nei precedenti paragrafi.

Il primo parametro che si è individuato è, appunto, quello "ambientale", ovvero relativo al tipo di urbanizzazione. E' intuitivo come una alta urbanizzazione consenta con infrastrutture più "corte" di raggiungere (orizzontalmente e verticalmente) un numero potenziale maggiore di unità immobiliari rispetto a zone suburbane o rurali (è anche vero che probabilmente effettuare scavi in ambito urbano è più problematico, ma in questo ambito si è ipotizzato uno stesso standard di costo a parità di tecnica utilizzata). Si sono quindi individuati due scenari "Metropolitano" e "Suburbano" considerando, rispettivamente, i parametri desumibili dai dati del Comune di Roma per la sola porzione "urbana" (in linea di massima quella interna al GRA) e la parte complementare.

Rispetto allo scenario "base", i cui parametri ambientali erano stati desunti da una media complessiva dei Comuni di Roma e Milano, i nuovi parametri sono riportati in tabella.

<u>Parametri ambientali</u>	"Base"	"Metropolitano"	"Suburbano"
Densità urbanizzazione (ed./kmq):	131,5	282,4	35,9
Tipologia urbanizzazione (u.i./ed.):	9,2	9,2	3,4
Area "verde":	~9%	~0%	~90%
<u>Parametri tecnici/architetturali</u>			
Nodo Ottico: copertura (u.i.)	3.500	3.500	2.500

Tabella 13: scenari "ambientali"

Il secondo parametro è il “mercato”. Nel nostro modello il mercato è rappresentato in maniera esemplificativa da due parametri: la quota di mercato di lungo periodo ed il tempo di ramp-up. Per semplicità si è ipotizzata una funzione di crescita lineare; anche la funzione di crescita in effetti rappresenta un parametro ed alcuni tipi di funzione, di tipo per esempio sigmoideale, potrebbero rappresentare meglio la realtà. Come scenari alternativi se ne considereranno però solamente due, mantenendo la curva di crescita lineare e variando solo i parametri di quota di mercato e di tempo di ramp-up. Si ipotizzerà uno scenario molto ottimistico con l’80% di quota a regime raggiunta in soli 5 anni ed uno scenario, probabilmente altrettanto esageratamente, pessimistico (anche se il *digital divide comportamentale*, e non *infrastrutturale*, resta ancora un valore tristemente alto nel nostro Paese) di fallimento di mercato, con una quota del 20% raggiunta in soli 10 anni.

Altri parametri sono quelli legati ai “prezzi”, con riferimento sia ai prezzi imposti alla clientela, sia a quelli imposti dai fornitori. Con riferimento ai prezzi per la clientela è possibile procedere ad una stima basandosi sul modello dell’*elasticità della domanda*, definita come

$$e = - \frac{\partial q / q}{\partial p / p}$$
 essendo q e p , rispettivamente, la quantità venduta ed il prezzo. Analisi accurate

vengono generalmente fatte dalle funzioni di marketing, basandosi su serie storiche comportamentali della propria clientela. Queste forniscono delle stime che possono essere usate per simulazioni su nuovi prodotti. Nel nostro caso ipotizzeremo un valore di $e=0,5$ (ovvero una elasticità della domanda relativamente bassa rispetto alle variazioni di prezzo) con una variazione del prezzo del $\pm 20\%$; sotto queste ipotesi si stima che il passaggio del canone da 40 a 32 € porterebbe ad un aumento della clientela, nel lungo periodo, dal 50 al 55% delle unità cablate. Viceversa, aumentare il canone a 48 € ridurrebbe la clientela attiva al 45%. Evidentemente si tratta anche in questo caso di una semplificazione estrema della realtà.

Infine, altri parametri fondamentali nel calcolo del business plan sono quelli “finanziari” (nel nostro caso riassunti tutti nel WACC, valore generalmente derivato da una serie di parametri di dettaglio relativi alle attività dell’azienda). Per questa ultima classe non vengono fatte analisi di sensitività in quanto andrebbero oltre l’obiettivo del presente lavoro, complicandone inutilmente la lettura dei risultati finali.

Fatta questa sommaria classificazione dei principali parametri, si è quindi proceduto con il ricalcolo del business plan nei nuovi scenari individuati e se ne sono confrontati i risultati con il caso base in termini di *peak funding* per unità immobiliare e *break even*, ritenuti i due indici

fondamentali per un confronto omogeneo. Si sono confrontate le diverse architetture FTTH, FTTB ed FTTC.

La figura che segue riassume le risultanze delle simulazioni.

Scenario	Base	Urbanizzazione		Mercato (%clienti/anni)		Prezzo (€/ %clienti)	
		Metropolitano	Suburbano	M-80/5	M-20/10	P-32/55	P-48/45
Peak Funding (€/u.i)							
FTTH/P2P	739	613	1.399	735	756	742	736
FTTH/PON	603	525	1.074	603	617	603	603
FTTB/P2P	547	422	1.110	534	585	551	544
FTTB/PON	399	320	766	395	434	402	398
FTTC	118	101	264	118	126	118	118
Break Even (anni)							
FTTH/P2P	11	10	>15	6	>15	13	10
FTTH/PON	9	8	15	5	>15	10	9
FTTB/P2P	10	9	>15	6	>15	12	9
FTTB/PON	8	7	12	4	>15	9	7
FTTC	4	4	7	2	9	5	4

Tabella 14: analisi di sensitività

Il parametro che appare essere maggiormente significativo, almeno in termini di sforzo finanziario, come era lecito attendersi, è quello relativo all'urbanizzazione. Appaiono evidenti le differenze in termini di *peak funding* e come il *break even* aumenti significativamente nel caso di bassa urbanizzazione, per cui l'unica soluzione apparentemente praticabile resta la FTTC, anche essa con tempi di rientro che superano comunque i 5 anni, ma con valori di peak funding che si mantengono accettabili e comunque inferiori a quelli delle altre architetture anche in condizione di alta urbanizzazione. La soluzione FTTH resta infatti, anche in caso di alta urbanizzazione, un investimento estremamente oneroso e che solo un buon successo di mercato in termini di quote (traducibile come unità immobiliari cablate che si trasformano in clienti attivi) riesce a rendere sostenibile. Il caso di bassa quota di mercato raggiunta (solo il 20% delle u.i.) rende l'investimento poco attrattivo (FTTC, con orizzonte temporale di rientro che supera gli 8 anni, come evidenziato dal confronto delle due tabelle seguenti) o decisamente fallimentare (FTTH).

Anno (€/u.i. cablata)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento	(118)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)							
Costi Energia e O&M		(16)	(17)	(19)	(21)	(23)	(24)	(26)	(28)	(29)	(30)	(30)	(31)	(31)	(32)	(33)
Costi Amministrativi		(6)	(11)	(17)	(22)	(28)	(33)	(39)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)
Ricavi		30	60	90	120	150	180	210	240	240	240	240	240	240	240	240
Cash Flow	(118)	6	29	51	74	97	119	142	164	167	166	165	165	164	164	163
Cash Flow Attualizzato	(118)	6	26	44	61	76	89	101	111	107	102	97	92	87	83	78
VAN Cumulato	(118)	(112)	(86)	(42)	19	95	184	285	396	503	605	702	793	880	963	1.041

Tabella 15a: FTTC Scenario "base"

Anno (€/u.i. cablata)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento	(118)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)					
Costi Energia e O&M		(15)	(15)	(16)	(17)	(18)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(22)	(23)	(23)	(24)	(24)
Costi Amministrativi		(2)	(4)	(5)	(7)	(9)	(11)	(12)	(14)	(16)	(18)	(18)	(18)	(18)	(18)	(18)
Ricavi		10	19	29	38	48	58	67	77	86	96	96	96	96	96	96
Cash Flow	(118)	(8)	(1)	6	13	20	27	34	41	48	55	56	55	55	54	54
Cash Flow Attualizzato	(118)	(7)	(1)	6	11	16	21	24	28	31	34	33	31	29	27	26
VAN Cumulato	(118)	(125)	(126)	(121)	(109)	(93)	(73)	(48)	(20)	11	45	77	108	137	165	191

Tabella 15b: FTTC Scenario "M-20/10"

La politica di prezzo, infine, sembra meno importante rispetto agli altri parametri. Ma a tale proposito non va dimenticato che si sono fatte assunzioni, come per esempio il prezzo base ed il valore dell'elasticità a quel livello di prezzo, che la realtà di mercato potrebbe sconvolgere radicalmente.

Conclusioni

Il confronto economico tra le varie soluzioni FTTx analizzate evidenzia come la differenza tra una scelta e l'altra, in termini di investimenti richiesti e tempi di rientro, sia notevole. Per la scelta tecnologicamente ottima, anche in termini di evoluzione nel lungo termine, la **FTTH/P2P**, il vincolo economico sembra rappresentare un ostacolo attualmente insormontabile e tale da non farne prevedere uno sviluppo nel breve termine. Non è un caso che in Italia l'unico operatore che aveva iniziato, ormai quasi 10 anni fa, uno sviluppo di tipo FTTH è stato un operatore alternativo che, dopo un primo sviluppo limitato di fatto ad alcune zone di Roma e Milano, non ha replicato il modello, mantenendo ormai ferma da tempo la propria *customer base* in fibra.

Analizzando i risultati dell'esercizio numerico fatto nel presente lavoro, non va poi dimenticato che le condizioni ed i parametri scelti sono stati estremamente favorevoli, ed assimilabili a quelli di una zona densamente urbanizzata; ciononostante anche in queste condizioni la soluzione FTTH/P2P risulta estremamente costosa. L'analisi di sensitività ha messo ancor più in rilievo il fatto che solamente alcune limitate zone ad alta redditività e presumibilmente molto urbanizzate potranno avere una certa attrattività per un ipotetico investitore.

Non è quindi un caso che al momento la maggior parte degli operatori si stia orientando verso soluzioni a costo minore. In particolare, a parte casi molto particolari, al momento sembra essere la FTTC la tipologia di soluzione che si andrà maggiormente ad implementare nell'immediato futuro. Si tratta evidentemente di un primissimo passo verso lo sviluppo di una rete effettivamente di "*nuova generazione*", mantenendo infatti questa soluzione ancora una parte sostanziale in rame. La realtà è che al momento la domanda non è tale da giustificare bande dell'ordine di 100Mbit/s come valore di riferimento ed una scelta del genere rappresenta una comprensibile cautela da parte degli operatori. Ma tra qualche anno le cose potrebbero cambiare; basti considerare che meno di 15 anni fa la quasi totalità degli accessi erano a 64kbit/s in modalità *dial-up*!

I rischi che si corrono nell'immediato futuro sono principalmente di due tipi. Il primo, di natura tecnologica, è legato al fatto che scelte *ibride* ottico/rame e strutture *condivise* (PON) nel medio termine potrebbero portare a problemi e rallentamenti nello sviluppo ulteriore dell'infrastruttura. Si pensi, per fare un paragone con il passato, all'introduzione, a suo tempo, delle linee "*duplex*" o dei "*multiplex*" nella rete di accesso al fine di "moltiplicare" sulla stessa linea fisica il numero di linee logiche disponibili; ebbene, questi apparati, ancora oggi, rappresentano in certe zone un enorme problema in quanto impediscono la fruizione di semplici servizi ADSL. Il

secondo, di tipo sociale, è legato al problema del *digital divide*. Si sta infatti faticosamente completando il processo di azzeramento del digital divide di seconda generazione per l'accesso a 2Mbit/s per la totalità della popolazione. Ad oggi l'obiettivo non è stato ancora raggiunto e circa il 5% della popolazione non ha accesso a servizi ADSL o a servizi mobili 3G; per questa fascia di popolazione è disponibile solo la soluzione satellitare, che negli ultimi anni ha raggiunto qualità confrontabili con quelle dell'ADSL, per accedere alla rete con velocità definibili a "banda larga". Evidentemente le NGAN apriranno un nuovo capitolo di "*digital divide*" che sarà molto più difficile da colmare in un mercato ormai completamente aperto ed orientato alla sola redditività. Il rischio, in questo caso, è di creare o acuire le situazioni di esclusione digitale che così a fatica si stanno cercando di ridurre.

La sfida per il futuro sarà quindi quella di fare coincidere la convenienza economica con la migliore tecnologia; e questo potrà accadere solo se la domanda di banda sarà effettivamente tale da giustificare gli enormi investimenti che la migliore soluzione tecnologica richiede.

Bibliografia

- [1] Alessandro Paci, Andrea Iannelli
Un modello semplificato di costo per la rete di accesso passiva in fibra ottica NGAN
http://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/comunicazioni/Staff_CapoDipartimento/Div.I/MODELLO_NGAN.pdf

- [2] Alessandro Paci, Andrea Iannelli
Una metodologia automatica per la progettazione di massima e la stima dei costi di una rete di accesso NGAN

- [3] *Relazione finanziaria Gruppo Telecom Italia 2011*
http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Investitori/Bilanci_di_esercizio/2011/RelazioneFinanziariaAnnuale-2011-GruppoTI.pdf

- [4] Claudio Bianco, Flavio Cucchietti
Tecnologie delle comunicazione e sostenibilità ambientale: Green ICT & ICT for Green
Il risparmio energetico nelle reti degli Operatori
<http://home.dei.polimi.it/capone/GreenICT/cucchietti.pdf>

- [5] Marco Burzio, Telecom Italia
NGAN: Tecnologie e apparati
<http://www.key4biz.it/files/000093/00009354.pdf>

- [6] WIK-Consult
Architectures and competitive models in fibre networks
http://www.vodafone.com/content/dam/vodafone/about/public_policy/position_papers/vodafone_report_final_wkconsult.pdf