

Mondo globalizzato e interconnesso

Opportunità e sfide tecnologiche

Direttore

VITTORIO PASSARO
Politecnico di Bari

Comitato scientifico

ANTONELLO CUTOLO
Università degli Studi del Sannio

FRANCESCO DELLA CORTE
Università degli Studi Mediterranea

FRANCESCO CORSI
Politecnico di Bari

ANNA GINA PERRI
Politecnico di Bari

FRANCESCO DE LEONARDIS
Politecnico di Bari

TOMMASO MUCIACCIA
Telecom Italia

ANDREI TSAREV
Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk, Russia

Mondo globalizzato e interconnesso

Opportunità e sfide tecnologiche



La crescente domanda di servizi aggiuntivi alle comunicazioni ha favorito la ricerca e lo sviluppo di tecnologie che consentissero di soddisfare le nuove richieste di connettività della popolazione.

La gran parte dei rapporti umani è mediata dall'utilizzo pervasivo di applicazioni e strumenti con cui essere interconnessi; questa esigenza ha indotto la ricerca a sviluppare dispositivi con caratteristiche evolute basate sulla miniaturizzazione dei componenti e su un livello di integrazione sempre più accentuato. La "digital transformation" della società costituisce una sfida in cui ricerca e industria sono chiamate a dare il proprio determinante contributo nell'ottica di migliorare la qualità della vita, proteggere l'ambiente, incrementare l'efficienza dei processi produttivi, anticipare i bisogni delle persone.

Queste tematiche, con le loro sfide e soluzioni tecnologiche, e questi approcci, fortemente interconnessi tra aree scientifiche inizialmente separate dell'Elettronica, dell'Automatica, delle Telecomunicazioni e dei Sistemi di elaborazione, sono trattati e divulgati in questa collana evidenziando le opportunità, i rischi e le contraddizioni del mondo globalizzato.

Le considerazioni presenti in questo libro sono da attribuire personalmente agli autori e non rappresentano necessariamente le posizioni e le strategie delle organizzazioni di cui gli autori fanno parte.

Tommaso Muciaccia
Fabio Gargano
Vittorio Passaro

Fiber to the future

Accesso alla rete e reti di accesso





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXVII
Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.giacchinoonoratieditore.it
info@giacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-0743-0

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: novembre 2017

I don't care where I live, so long as there's a roof to keep the rain off my books, and high-speed Internet access.

Eliezer YUDKOWSKY

L'accesso ad Internet è diritto fondamentale della persona e condizione per il suo pieno sviluppo individuale e sociale.

*Dichiarazione dei Diritti
di Internet, Art. 2.*

- 11 *Prefazione*
di Luigi Alfredo Grieco
- 13 *Introduzione*
- 19 **Capitolo I**
Accesso a nuovi prodotti e servizi
1.1. Introduzione al capitolo, 19 – 1.2. *Cloud Computing*, 20 – 1.3. *Big Data*, 25 – 1.4. *Internet of Things*, 30 – 1.4.1. *Internet of Humans*, 37 – 1.4.2. *Smart Homes*, 39 – 1.4.3. *Smart Cities*, 41 – 1.5. Digitalizzazione e Innovazione d'impresa, 43 – Bibliografia, 48
- 51 **Capitolo II**
Accesso alla rete
2.1. Introduzione al capitolo, 51 – 2.2. Perché la fibra ottica?, 51 – 2.3. Di quanta banda avremo bisogno?, 56 – 2.4. L'esplosione del traffico, 60 – 2.5. *Bandwidth crunch?*, 64 – 2.6. Rame vs fibra, 69 – 2.7. FTTC e FTTH, 74 – 2.8. Fibra ottica per tutti, 78 – 2.9. Fibra ottica e crescita economica, 83 – 2.10. Verso una *Gigabit Society* europea, 85 – Bibliografia, 88
- 89 **Capitolo III**
Le reti di accesso
3.1. Introduzione al capitolo, 89 – 3.2. Stato dell'arte sulle architetture FTTC e FTTdp, 89 – 3.3. Stato dell'arte sull'architettura FTTH, 93 – 3.4. Il protocollo GPON, 98 – 3.5. Materiali e soluzioni tecniche per le reti GPON, 105 – 3.6. Tecniche di scavo e aspetti impiantistici, 111 – 3.7. Analisi costi/benefici per una rete di accesso in fibra ottica, 120 – 3.8. Le telecomunicazioni in Italia, 127 – 3.9. Lo scenario competitivo in Italia, 131 – 3.10. La strategia italiana per la banda ultralarga, 134 – Bibliografia, 138
- 141 **Capitolo IV**
Il futuro dell'accesso
4.1. Introduzione al capitolo, 141 – 4.2. L'evoluzione a breve termine delle PON, 141 – 4.3. L'evoluzione a medio termine delle PON, 144 – 4.4. L'evoluzione a lungo termine delle PON, 147 – 4.5. *Software-defined net-*

working in rete di accesso, 153 – 4.6. Reti di accesso ottiche e 5G, 163 – Bibliografia, 168

171 Capitolo V

Un accesso libero e neutrale

5.1. Introduzione al capitolo, 171 – 5.2. L'ecosistema Internet, 172 – 5.3. Il diritto di accesso a Internet, 178 – 5.4. Le sfide della *net neutrality*, 184 – 5.5. I paradigmi SDN/NFV: una minaccia o un'opportunità per la *net neutrality?*, 197 – Bibliografia, 203

205 Capitolo VI

Qualità in accesso

6.1. Introduzione al capitolo, 205 – 6.2. Il concetto di qualità legato alla *customer experience*, 206 – 6.3. QoE vs QoS, 209 – 6.4. Modelli di qualità per soluzioni video, 213 – 6.5. Tecniche di analisi e *monitoring* di QoS e QoE, 219 – 6.6. Sfide future, 223 – Bibliografia, 227

229 Capitolo VII

Accesso sicuro alla rete

7.1. Introduzione al capitolo, 229 – 7.2. La *cyber security*: scenari e trasformazioni, 230 – 7.3. Strategie di *cyber security* in UE e normative, 241 – 7.4. Sfide e strategie evolutive, 247 – 7.5. Minacce e strumenti di nuova generazione, 254 – Bibliografia, 264

Prefazione

di LUIGI ALFREDO GRIECO*

L'avvento di Internet ha rivoluzionato il modo di concepire l'accesso all'Informazione, determinando una rivoluzione epocale a cavallo tra XX e XXI secolo, la cui portata investe ogni aspetto del vissuto quotidiano della nostra Civiltà e le cui implicazioni sui differenti piani – sociale, economico e antropologico – sono ben lungi dall'essere disvelati nella loro totalità.

Le tecnologie abilitanti che rendono possibile l'esistenza stessa di Internet e ne sostengono la continua espansione sono l'esito di un lungo percorso di evoluzione culturale che interessa molteplici campi del Sapere, i cui esiti ci consentono di trasmettere sempre crescenti quantità di dati a distanza, utilizzando apparati sempre più piccoli e rendendo difatti Internet elemento imprescindibile nella nostra Società.

Le fibre ottiche si collocano come pilastri fondamentali dell'edificio telematico su cui si erge Internet poiché in grado di far fronte alla crescita esponenziale del traffico dati nel tempo che origina da utenze civili ed industriali, reti radiomobili, *data center* e sistemi *Internet of Things*.

In questo scenario, il libro "Fiber to the Future" si pone l'obiettivo di far luce sullo scenario delle tecnologie di comunicazione in fibra ottica, analizzando ad ampio spettro le differenti sfaccettature che lo compongono, con una particolare enfasi sui sistemi di accesso. Partendo da una disamina delle applicazioni e servizi maggiormente diffusi oggi, il testo approfondisce con estrema lucidità tecnica l'analisi delle tecnologie a banda larga ed ultra-larga più promettenti, utilizzando un linguaggio di immediata comprensibilità e toccando anche temati-

* Professore associato, Politecnico di Bari.

che di assoluto rilievo come la sicurezza e la neutralità dell'accesso ad Internet.

Ringrazio personalmente gli autori per questo lodevole contributo formulando i migliori auspici di ampia diffusione.

Prof. Luigi Alfredo Grieco

Introduzione

Nell'epoca di Internet le relazioni sociali, i rapporti economici, i valori culturali, le esperienze lavorative e formative e in generale tutta la nostra vita ruotano in larga parte attorno al concetto di "rete". Ne consegue di riflesso l'enorme rilevanza che assume il concetto di "accesso", inteso come possibilità di connettersi alla rete per divenirne in qualche modo un nodo esattamente come gli altri. In un suo saggio intitolato "L'era dell'accesso", l'economista statunitense Jeremy Rifkin profetizzava già nel 2000 l'avvento di una nuova era in cui i mercati avrebbero ceduto il passo alle reti e la proprietà, fondamento dei sistemi capitalistici del XX secolo, sarebbe stata sostituita progressivamente dall'accesso. Effettivamente in questi decenni abbiamo assistito all'instaurarsi di una società in cui i rapporti economici sono basati sempre meno sullo scambio di merci e sempre più sull'accesso a segmenti di esperienza, al tempo e alle competenze degli altri. Come previsto da Rifkin, l'era dell'accesso ha portato con sé non solo un nuovo modo di pensare ai rapporti economici, ma anche una nuova concezione dell'impegno politico e perfino della percezione di se stessi.

Oggi, "accesso" è uno dei termini più usati nella vita sociale: quando lo sentiamo, probabilmente siamo portati a pensare a nuovi universi di possibilità e di opportunità. Esso è diventato il titolo necessario per accedere al progresso e alla soddisfazione personale e possiede una potenza evocativa pari a quella che, per le passate generazioni, ha avuto la visione democratica. È un vocabolo denso di suggestioni e carico di significati politici. Parlare di accesso, dopotutto, significa parlare di distinzioni e divisioni, di chi sarà incluso e di chi sarà escluso. L'accesso sta diventando un potente strumento concettuale per riformulare una visione del mondo e

dell'economia, ed è destinato a diventare la metafora più efficace della nuova era.¹

In un mondo fatto di reti, in cui il concetto di accesso diventa requisito indispensabile, vale la pena soffermarsi sulle condizioni dell'accesso stesso. Tali condizioni determinano, infatti, le regole e le modalità con cui ciascun elemento o soggetto (un dispositivo, un individuo, un'impresa, etc.) può divenire parte integrante di una rete o restarne escluso. A fondamento della vita culturale c'è sempre stata la questione dell'accesso e dell'inclusione. Se, tuttavia, in passato, questo avveniva sulla base di criteri intrinseci, come le tradizioni, le relazioni personali, l'appartenenza ad una determinata comunità etnica o religiosa, oggi l'accesso alle reti diventa sempre più una questione definita da un complesso sistema di fattori tecnologici, economici e giuridici. Come corollario a questa constatazione, ne consegue che diventa determinante il ruolo dei *gatekeepers*, i "guardiani" delle reti geografiche e virtuali che sempre più "determinano le condizioni e i termini in base ai quali centinaia di milioni di uomini potranno avere accesso gli uni agli altri"². Sono *gatekeeper* quegli individui e quelle istituzioni che stabiliscono chi può accedere e chi viene escluso in una società basata sulle reti. Come i troiani dell'Iliade traevano benefici economici e politici dalla loro attività di intermediazione operata sullo stretto dei Dardanelli, collegamento tra l'Egeo e il mar Nero, allo stesso modo i moderni *gatekeeper* ricavano potere dall'essere "passaggio obbligato" che permette agli individui di avere accesso alle esperienze che vogliono vivere all'interno delle reti.

Tutto questo è vero anche per quella particolare tipologia di rete che sono le reti di telecomunicazioni e la rete Internet (la Rete per antonomasia) che rappresentano sempre più il substrato portante di tutte le altre tipologie di rete. Accesso, *gatekeeping* e potere rappresentano, anche in questo caso, concetti basilari. Nel lontano 1980, il sociologo statunitense Daniel Bell as-

¹ J. Rifkin, "L'era dell'accesso", Mondadori Editore, 2000.

² *ibid.*

seriva: “Il controllo sui servizi di comunicazione è fonte di potere e l’accesso alla comunicazione è condizione di libertà”³. Nell’ambito delle reti di telecomunicazioni, le reti di accesso rappresentano il segmento più prossimo all’utente, il cosiddetto “ultimo miglio”, ovvero la parte più periferica e capillare dell’intero sistema. Le reti di accesso e, in particolare, le reti di accesso in fibra ottica rappresentano oggi in Italia e in quasi tutti i paesi sviluppati un tema di grandissima attualità che attrae l’attenzione di una platea ampia costituita non solo dagli esperti del settore, ma anche da un’ampia fetta dell’opinione pubblica (giuristi, economisti, investitori, cittadini). L’innovazione nelle reti di accesso è un fattore decisivo per l’indomabile trasformazione digitale che pervade sempre di più ogni aspetto del mondo in cui viviamo. Gli anni 2000 sono comunemente definiti il decennio breve per via della travolgente velocità delle innovazioni tecnologiche che si sono susseguite: nel 2000, ad esempio, è iniziata la diffusione domestica di Internet; nel 2010 Steve Jobs ha trasformato in un successo planetario una tavoletta magica. Cosa dobbiamo aspettarci nel 2020? E cosa potrebbe accadere nel 2025? Difficile dirlo, visto l’incessante susseguirsi di innovazioni tecnologiche che hanno cambiato in breve tempo la nostra vita. E ogni qual volta pensiamo che la tecnologia abbia raggiunto il limite, in realtà si è raggiunto solo un nuovo punto di inizio. Tutto è cominciato quando dei “pezzi di ferro” hanno cominciato a sviluppare capacità di elaborazione talmente elevate da non sapere nemmeno come poterle sfruttare appieno; ci siamo ritrovati un patrimonio della tecnologia che bisognava indirizzare prima come supporto alle nostre vicissitudini e che poi è diventato l’elemento chiave del nostro stile di vita, con mille sfaccettature e nuovi prodotti e servizi che fino a qualche anno fa erano sconosciuti e che ora invece sono parte integrante della nostra vita, basti pensare agli *smartphone*, al *cloud computing* o al video UHD. E tanti altri prodotti e servizi rappresen-

³ D. Bell, “*The winding passage: sociological essays and journeys*”, ABT Associates Inc., 1980.

tano ancora un potenziale inesplorato: l'*Internet of Things*, la realtà virtuale, i *big data*, solo per citarne alcuni.

Tuttavia, per poter trasformare in realtà ciò che qualcuno di noi ha immaginato sfruttando il salto di qualità di quei “pezzi di ferro”, bisogna superare un limite apparentemente invalicabile, ovvero la possibilità di trasportare una quantità così ingente di informazioni in giro per il mondo. Le stime sempre crescenti di traffico certificano ormai la fame insaziabile di informazioni ed è opinione sempre più condivisa quella di considerare la connettività un fattore abilitante della crescita economica. Le tecnologie ottiche consentono di supportare la trasformazione digitale dotando i “pezzi di ferro” di vere e proprie autostrade in fibra ottica per poter comunicare, fino a raggiungere le nostre case mediante le cosiddette architetture FTTH (*Fiber To The Home*) che aprono le porte alla ormai famosa *ultra-fast broadband*, la cui potenzialità è già in essere ed è talmente travolgente da attirare ingenti investimenti pubblici e privati.

Mentre vengono messe in atto strategie di *deployment* e piani infrastrutturali in fibra ottica, il progresso della ricerca scientifica in ambito industriale ed accademico già prospetta all'orizzonte nuove tecnologie non solo per ampliare la capacità dei collegamenti in fibra ottica per dotare l'*hardware* e i canali di comunicazione di un'intelligenza sopraffina in grado di ottimizzare i percorsi, controllare in remoto le funzionalità e la fruizione dei servizi, e poter ridisegnare facilmente il servizio in base alle esigenze più disparate. Ed è così che la possibilità di gestire il traffico di intere reti con l'ausilio del *software* cominciano a far capolino come “attrezzature” sofisticate di cui dotare la nuova infrastruttura, anche nelle reti di accesso.

Ma a questo punto occorre chiederci: quali implicazioni può avere la possibilità di gestire il traffico dei nostri dati sui nostri diritti e sulla vita democratica? È necessario regolamentare l'accesso ad Internet per garantire che rimanga libero e neutrale? Se sì, in che modo? A tutte queste domande cercano di dare risposta negli ultimi anni le legislazioni di vari paesi, a partire dall'*Open Internet Order* approvato negli Stati Uniti nel 2015. Il diritto di accesso a Internet, condizione necessaria per la cit-

tadinanza digitale, ritenuta da più parti una precondizione della democrazia, non si limita infatti alla possibilità economica, culturale e tecnologica di accedere alla rete. Il diritto di accesso trova pieno ed effettivo compimento nel principio di neutralità della rete che incide profondamente non solo sulla quotidianità della vita degli utenti ma anche nelle relazioni di potere tra i principali *player* dell'ecosistema Internet. Secondo il giurista italiano Stefano Rodotà, la salvaguardia della neutralità della rete è da considerarsi un antidoto a ogni forma di censura.

Diritto di accesso e neutralità della rete sono gli strumenti necessari per rendere possibile il “contributo creativo” di una platea sterminata di soggetti che guardano alla conoscenza in rete come a una continua, interminata costruzione collettiva, sottratta alla regola del profitto e così volta verso l'apertura di spazi “comuni” sempre più larghi, di “non-market commons”. Il diritto in accesso, dunque, riguarda sia la conoscenza “in uscita”, quella che ciascuno può attingere dalla rete; sia quella “in entrata”, prodotta appunto da tutti coloro che la accrescono con il loro intervento.⁴

Il principio di neutralità della rete, tuttavia, si contrappone, almeno all'apparenza, ai requisiti di qualità del servizio che possono risultare necessari in contesti specifici. La qualità, peraltro, risulta sempre più legata all'esperienza soggettiva dell'utente. La rete veloce, libera e neutrale progettata per noi soddisferà realmente i nostri bisogni? Per rispondere al quesito è necessario testare la qualità di ciò che la tecnologia mette a nostra disposizione. La tecnologia ci offre continuamente qualcosa di veramente innovativo e fuori dal comune, che tuttavia deve essere costantemente monitorato con opportuni strumenti di misura e controllo con i quali si può dar voce a colui che ha avuto l'onere e il privilegio di provare qualcosa di nuovo.

Altro requisito per le reti del futuro, che affianca quelli di qualità in cima ai bisogni e alle preoccupazioni degli utenti, è quello della sicurezza. Siamo sicuri che i nostri dati sensibili che abbiamo spedito con posta celere su una nuvoletta in un an-

⁴ S. Rodotà, “*Il mondo nella rete. Quali i diritti, quali i vincoli*”, Editori Laterza, 2014.

golo sconosciuto del pianeta siano al sicuro? Siamo certi che la ricerca spasmodica di virtualizzazione non permetta a qualcuno di intercettare le nostre informazioni per farne un uso improprio? La sicurezza in rete è un aspetto da non sottovalutare perché qualora essa non fosse garantita, anche un semplice consenso commerciale dato con leggerezza può trasformarsi in un pericolo più o meno grande a seconda del tipo di informazioni condivise.

Per comprendere appieno le implicazioni di tutti questi aspetti, è necessario partire dagli aspetti tecnologici. Con il supporto di dati e analisi ufficiali, documenti di settore e pubblicazioni scientifiche, cercheremo di capire perché le soluzioni in fibra ottica e le tecnologie fotoniche saranno così importanti per definire le condizioni dell'accesso alle reti e in che modo le reti di accesso di nuova generazione abiliteranno servizi innovativi che ci collegheranno davvero al futuro. Solo dopo aver acquisito padronanza della complessità tecnologica su cui si poggiano il mondo delle reti e le sue possibilità di accesso, potremo consapevolmente condividere la semplicità delle affermazioni con cui si aprono le *Nuove Tesi del Cluetrain Manifesto*, una delle più famose dichiarazioni dei diritti di Internet.

Internet siamo noi, connessi. Internet non è fatto di cavi di rame, fibre ottiche, onde radio e neanche di tubi. I dispositivi con cui ci connettiamo a Internet non sono Internet. [...] La Rete è di noi, da noi e per noi. Internet è nostra.⁵

⁵ D. Searls, D. Weinberger, *Cluetrain Manifesto: New Clues*, 2015.

Accesso a nuovi prodotti e servizi

Tecnologie abilitanti e soluzioni per il mercato delle Imprese

1.1. Introduzione al capitolo

La crescente richiesta di servizi aggiuntivi alla comunicazione vocale come la connettività dati per l'accesso a Internet ad alta velocità, lo streaming video e in generale tutti i servizi cosiddetti *band consuming*, ha favorito la ricerca e lo sviluppo di una tecnologia che consentisse di soddisfare le nuove richieste di connettività della popolazione. Tali richieste sono basate su parametri ormai imprescindibili e sempre crescenti, uno tra tutti l'aumento di disponibilità di banda e quindi di velocità, senza trascurare un notevole grado di scalabilità e portabilità tali da poter mettere in comunicazione un numero elevato di oggetti.

La fotonica e le comunicazioni in fibra ottica rappresentano la soluzione al raggiungimento di questo obiettivo: nell'ultimo decennio ci sono stati notevoli investimenti propedeutici all'evoluzione dell'architettura, della tecnologia e della funzionalità delle reti di telecomunicazioni, soprattutto nel segmento di accesso o "ultimo miglio", con l'avanzamento delle soluzioni *Fiber To The Home* (FTTH). Le reti di nuova generazione costituiscono il nodo portante delle soluzioni di *data business* del futuro, come l'*Internet of Things* o tecnologia del "tutto connesso" e i *Big Data*, in cui il valore dei dati è talmente importante da diventare il driver principale delle strategie di mercato, basate su soluzioni verticali più mirate sulle specifiche richieste

del consumatore. A livello tecnologico, inoltre, la conversione in infrastrutture completamente in fibra ottica, che sarà oggetto dei prossimi capitoli, è affiancata da una radicale trasformazione dei sistemi IT (*Information Technology*), cioè di tutto ciò che compete alla trasmissione, utilizzo, ricezione e memorizzazione dei dati, i quali sono progressivamente in migrazioni verso soluzioni cosiddette in *Cloud*, facilmente realizzabili, mantenibili e disponibili a costi più contenuti rispetto ai sistemi tradizionali. In definitiva l'obiettivo di questo capitolo è definire le tecnologie abilitanti allo sviluppo dei nuovi modelli di business, in modo tale da identificare le opportunità di mercato dei prossimi anni.

1.2. *Cloud Computing*

Il *Cloud Computing* è una tecnologia emergente profondamente diversa dalle tecnologie alla base dei tradizionali sistemi, essendo basata su un modello distribuito di accesso a servizi, piattaforme e infrastrutture, attraverso la rete Internet.

“*Software is eating the world*”, diceva Marc Andreessen (un informatico e imprenditore statunitense) nel 2011, quando il modello *cloud-based* cominciava a radicarsi nelle realtà aziendali più all'avanguardia, profondamente affascinate dall'idea di alleggerire il peso dei propri sistemi informatici per dedicarsi a soluzioni agili, scalabili e soprattutto *on demand* e quindi *cost effective*.

In pochi anni una tecnologia emergente si è trasformata nella tecnologia *future-proof* per eccellenza, siamo passati da applicativi adattati al *cloud-based* nei più disparati settori di mercato (vendite, marketing, *Customer Relationships Management*) a servizi *cloud-native* che capitalizzano gli investimenti e la ricerca dei prossimi anni e che saranno oggetto dei prossimi paragrafi (*Big Data*, *Internet of Things*). La grossa differenza tra le applicazioni *cloud-native* e quelle *cloud-based* sta nel fatto che le prime sono già pensate, sviluppate e testate con un ap-