

Lo switch-on della Fibra FTTH: un motore di sostenibilità

Politecnico di Torino

Redatto da Michela Meo e Daniela Renga

1. CONTESTO E OBIETTIVI

Le reti di accesso rappresentano un'infrastruttura strategica per il funzionamento della società digitale, costituiscono l'elemento infrastrutturale che collega direttamente utenti, dispositivi e servizi digitali alla rete di comunicazione globale e in quanto tale rappresentano il punto di convergenza tra la domanda di connettività, che è in costante crescita e sempre più eterogenea, e l'offerta di servizi che comprendono quelli tradizionali e i servizi più avanzati quali cloud computing, Internet of Things, applicazioni critiche e servizi pubblici digitali. La crescente popolarità dei servizi di telecomunicazioni ha avuto un ruolo decisivo nell'evoluzione delle tecnologie per l'accesso a Internet. Mentre solo il 16% della popolazione mondiale era online all'inizio degli anni 2000, oggi il 74% della popolazione accede a Internet [1] per un traffico totale trasportato dalla rete dell'ordine dei 10 ZB (10^{21} byte, migliaia di miliardi di miliardi di byte). In Italia, la percentuale di famiglie italiane con accesso a Internet superava l'86 % nel 2024, secondo i dati Istat [2].

Questa crescente diffusione della connettività, accompagnata alla diversificazione dei servizi offerti, si traduce nella necessità di reti sempre più performanti, non solo in termini di indicatori tradizionali quali capacità trasmissiva e latenza, ma anche in termini di resilienza, indispensabile per garantire la continuità di servizi critici su cui si fa un affidamento sempre maggiore. In tale scenario evolutivo, l'espansione delle infrastrutture di telecomunicazioni ha comportato un aumento significativo dei consumi energetici, con un duplice impatto. Da un lato, l'incremento dei costi operativi sostenuti dagli operatori di rete, di cui il consumo energetico rappresenta oggi una quota rilevante, riduce la capacità di investimento strategico in nuove tecnologie e nel miglioramento delle prestazioni e della qualità del servizio. Dall'altro lato, la crescita dei consumi energetici determina un impatto ambientale che compromette la sostenibilità della crescita.

La riduzione dei consumi energetici delle infrastrutture di telecomunicazioni è diventato quindi urgente ed è oggi uno degli obiettivi strategici per favorire la crescita e la sua sostenibilità.

Nell'ambito delle reti di accesso cablate, la tecnologia ottica, a fronte di significativi miglioramenti delle prestazioni rispetto alle soluzioni tradizionali il rame, è molto promettente in termini di riduzione dei consumi energetici. In questo lavoro, vengono stimati i benefici potenziali dello switch-off della rete in rame in favore di una copertura in fibra ottica in termini di riduzione dei consumi e quindi di impatto ambientale.

I risultati che vengono qui illustrati mostrano che lo **spegnimento della tecnologia in rame porta a una riduzione dei consumi energetici particolarmente significativa, pari all'86%**. Come verrà approfondito più avanti, questo risultato è dovuto all'effetto combinato del limitato fabbisogno energetico dei dispositivi che realizzano le reti ottiche e del ridotto numero di dispositivi necessari per servire l'utenza.

La metodologia utilizzata per l'analisi ha permesso anche di studiare diversi scenari di transizione dalla attuale coesistenza di reti in rame e ottiche a reti interamente in fibra ottica. I risultati suggeriscono che **accelerare la transizione rispetto a una transizione completa in 10 anni, come previsto nel Digital Networks Act (DNA) può portare a risparmi fino a 4 TWh di energia**. Una politica di supporto alla transizione verso reti interamente ottiche ha un grande potenziale in termini di sostenibilità ambientale, riduzione dei costi e quindi capacità di investimento in innovazione e qualità del servizio, e resilienza delle infrastrutture di telecomunicazioni.

2. OLTRE LE PRESTAZIONI: SOSTENIBILITÀ E RESILIENZA DELLE RETI DI ACCESSO

Solitamente, il confronto tra tecnologie di accesso si è basato su metriche di qualità del servizio offerto: disponibilità di banda e relativa stabilità per permettere di soddisfare i requisiti di applicazioni che richiedono il trasferimento di grandi volumi di dati (servizi video, per esempio, anche ad alta definizione), latenza per rendere possibile la realizzazione di servizi interattivi, copertura per raggiungere gli utenti in maniera capillare.

Tuttavia, oggi, nel confronto tra soluzioni tecnologiche diverse è diventato necessario considerare anche il **consumo energetico** per una molteplicità di motivi.

- In primo luogo, il consumo energetico è diventato una componente predominante i **costi** operazionali delle reti di accesso; la possibilità di scegliere soluzioni a minor consumo, e quindi minor costo, si traduce nella capacità di effettuare investimenti su innovazioni e miglioramenti, necessari per far fronte alla crescita della domanda di servizio e per competere sul mercato.
- In secondo luogo, infrastrutture pervasive di servizi di cui si è osservato costantemente una crescita nella domanda e di cui ci si aspetta una ulteriore crescita, richiedono rigorose analisi di **sostenibilità** energetica, che significa anche basso impatto ambientale. I costi della gestione degli effetti dei cambiamenti climatici richiedono in ogni ambito industriale una visione prospettica di contenimento dei consumi e dell'impatto ambientale.
- Infine, soluzioni tecnologiche a minor consumo hanno migliori prestazioni in termini di **resilienza**, resistono meglio a possibili discontinuità della rete elettrica, sono più facilmente alimentabili con sorgenti energetiche diversificate e gruppi di continuità. Per poter offrire servizi critici, è necessario garantire affidabilità e resilienza.

Lo studio confronta le tecnologie in rame e ottiche in termini di consumi energetici, che allargano lo sguardo oltre le prestazioni e la qualità del servizio includendo le dimensioni di costo, sostenibilità e resilienza.

3. METODOLOGIA PER LA STIMA DEL CONSUMO ENERGETICO DELLE RETI DI ACCESSO

A. Modello di consumo

La metodologia utilizzata per questo studio adotta un approccio modulare e multilivello per la rappresentazione della rete di accesso. Considerata una certa tecnologia, la rete di accesso viene modellata come una struttura ad albero costituita da diversi livelli di aggregazione, come mostrato nella Figura 1 prendendo come esempio un modello a 3 livelli. Partendo dal livello più basso vicino all'utente, varie linee vengono aggregate a livelli gerarchici superiori, come rappresentato in figura con colori differenti. Ogni livello è caratterizzato da specifiche tipologie di apparato, che dipendono dalla tecnologia di accesso considerata. A sua volta, ciascun apparato di rete è descritto come un insieme di moduli elementari, caratterizzati da parametri chiave quali potenza assorbita in condizioni operative e numero di porte in uscita, alle quali sono collegati un certo numero di apparati di livello gerarchico inferiore.

La natura modulare del modello consente di: i) definire esplicitamente il numero di elementi per ciascun livello della topologia così da poter rappresentare sia aree geografiche con bassa densità di utenti e quindi alto numero di apparati per utente sia aree ad alta densità di utenza e quindi alto

utilizzo degli apparati; ii) caratterizzare ciascun apparato mediante attributi energetici specifici dipendenti dalla tecnologia di accesso adottata. Tali attributi includono il consumo elettrico fisso, la componente di consumo energetico che dipende dal carico di traffico e contributi aggiuntivi dovuti ai sistemi di raffreddamento. Il consumo totale della rete di accesso è pertanto ottenuto come somma dei contributi di tutti gli apparati, su tutti i livelli della struttura ad albero così definita.

Grazie a questa impostazione modulare, il modello risulta facilmente adattabile a diverse aree geografiche e tecnologie di accesso (ISDN, ADSL, FTTC, FTTH), semplicemente variando il numero e il tipo di apparati presenti in ciascun livello, nonché i relativi parametri di saturazione, ossia di livello di aggregazione, e consumo. Tale flessibilità rende il modello un valido strumento per il confronto energetico tra architetture di rete eterogenee e per la valutazione dell'impatto dello switch-off della rete in rame in scenari evolutivi differenti.

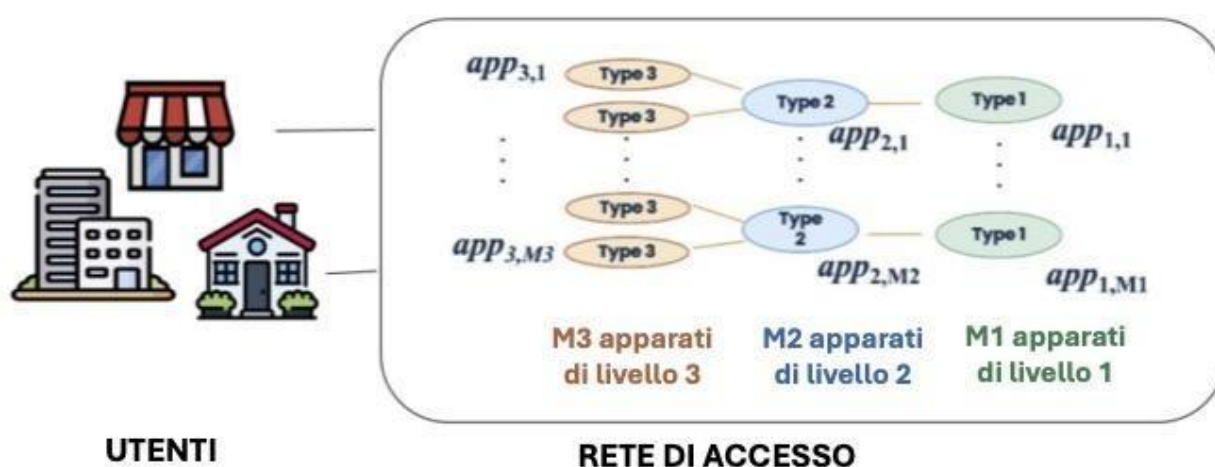


Figura 1 – Modellizzazione della rete di accesso.

B. Tecnologie di accesso a confronto

La Tabella I riporta i risultati dell'analisi comparativa basata sul modello di consumo proposto, e mette a confronto (i) i consumi energetici della rete di accesso fissa in Italia stimati nello scenario corrente e (ii) quelli attesi in uno scenario di completo switch-off del rame, inteso come la dismissione completa delle reti di accesso basate su infrastrutture in rame (ISDN, ADSL, FTTC) a favore di reti di accesso interamente in fibra ottica (FTTH). Allo stato attuale, il consumo energetico annuo delle reti di accesso fisse, stimato considerando i contributi delle diverse tecnologie di accesso operative, supera i 550 GWh all'anno, configurandosi come una criticità strutturale in termini di sostenibilità energetica ed ambientale nel settore delle telecomunicazioni. Appare inoltre evidente che attualmente le reti in rame contribuiscono in maniera dominante alla domanda energetica complessiva delle reti di accesso fisse, rappresentando quasi il 90% del consumo totale, nonostante servano meno del 70% dell'utenza complessiva. Questa stima è coerente con quella riportata da [3] per le reti legacy pari a 475 GWh misurati nel 2022. Il valore dei consumi stimati per una rete interamente in fibra che servisse tutta l'utenza è pari a 77 GWh annui che corrisponde a una riduzione del 86% rispetto alla situazione attuale. Questo valore così significativo è spiegato dalla combinazione di due fattori. Da un lato, il fabbisogno energetico dei dispositivi che realizzano le reti ottiche è inferiore rispetto a quello dei dispositivi delle reti in rame; dall'altro lato, il numero di dispositivi che sono necessari risulta minore. Pur portando un servizio migliore in termini di prestazioni e qualità del servizio, il consumo energetico delle reti in fibra è molto inferiore a quello

delle reti in rame, che risultano avere un impatto.

C. energetico sproporzionato rispetto al servizio erogato.

Tecnologia	Scenario corrente						Completo switch-off del rame	
	ISDN	ADSL	FTTC	FTTH (FC)	FTTH (OF)	Totale	FTTH	Totale
Consumo annuale [GWh]	119	156	211	36	29	551	77	77
Totale reti in rame								
486								

Tabella I - Consumo energetico annuo della rete di accesso fissa in Italia, stimato tramite il modello proposto, nello scenario corrente e nello scenario di completo switch-off del rame.

D. Livelli di saturazione

I modelli di consumo dei dispositivi elettronici in generale e di quelli di telecomunicazioni nello specifico presentano profili di consumo energetico che dipendono limitatamente dal carico. Ossia, il consumo osservato quando i dispositivi compiono poco o tanto lavoro cambia in maniera molto leggera. Il livello di lavoro rispetto alla capacità del dispositivo, chiamato il livello di saturazione, ha quindi un impatto limitato sul consumo del dispositivo. Questo fenomeno implica che una rete con tanti dispositivi poco carichi abbia un consumo complessivo molto maggiore di una rete in cui lo stesso carico venga smaltito da pochi dispositivi con alti livelli di saturazione. Negli scenari analizzati, il trasferimento di utenti dalla rete in rame a quella in fibra ottica risulta tanto più efficace quanti più apparati possono essere spenti per effetto dello svuotamento della rete in rame.

Questa osservazione suggerisce che per rendere la transizione a una rete interamente ottica efficace dal punto di vista della riduzione del consumo energetico (e quindi dei costi e dell'impatto ambientale) sia necessario **non semplicemente abbassare l'utilizzo della rete in rame trasferendo gradualmente gli utenti, ma arrivare al suo spegnimento**. E per lo stesso motivo, è preferibile uno spegnimento ad aree, in cui su base geografica si arrivi a spegnere la rete in rame in alcune aree piuttosto che una graduale e uniforme riduzione dell'utilizzo della rete in rame.

4. TRANSIZIONE VERSO UNA RETE FULL-FIBER COME MOLTIPLICATORE DI SOSTENIBILITÀ

A. Abbattimento dei consumi energetici

I risultati di questo studio dimostrano che la transizione da una rete di accesso caratterizzata dalla compresenza di infrastrutture in rame e in fibra ottica verso una rete interamente in fibra determina un abbattimento considerevole dei consumi energetici. La velocità di tale processo di transizione e, conseguentemente, della progressiva riduzione dei consumi è strettamente correlata al tasso di migrazione degli utenti che decidono di spostarsi dalle tecnologie legacy verso la tecnologia FTTH. Tuttavia, anche assumendo un tasso di migrazione spontanea pari a circa un milione di linee all'anno, coerente con l'evoluzione osservata del mercato, la riduzione annua dei consumi energetici si attesta intorno a 20 GWh,

corrispondente a meno del 4% del consumo complessivo attuale delle reti di accesso fisse.

Questo risultato è riconducibile innanzi tutto al fatto che la migrazione degli utenti verso FTTH avviene in maniera distribuita sul territorio. Di conseguenza, lo spegnimento degli apparati legacy risulta limitato, i consumi si riducono solo marginalmente poiché rimangono dominati da componenti fisse, mentre si accentua progressivamente l'inefficienza nell'utilizzo degli apparati di rete. Inoltre, in assenza di meccanismi di incentivazione o interventi regolatori mirati, emerge una quota residuale di utenza che tende a permanere su tecnologie legacy. Tale fenomeno compromette ulteriormente l'efficacia complessiva della transizione, ostacolando il pieno conseguimento dei benefici energetici attesi e imponendo il mantenimento di infrastrutture ed apparati ad elevato consumo operanti a livelli di utilizzo e saturazione progressivamente decrescenti. Occorre infine considerare la struttura gerarchica delle reti di accesso, organizzate su più livelli di apparati in cascata. La permanenza di un numero anche minimo di utenti residui a valle può rendere necessario il mantenimento in esercizio di apparati collocati a livelli gerarchici superiori, spesso responsabili della quota dominante di consumi energetici, determinando così un utilizzo complessivamente inefficiente dell'infrastruttura.

Nel complesso, questi elementi evidenziano come **la sola migrazione spontanea degli utenti non sia sufficiente a massimizzare i benefici energetici della transizione**, rendendo indispensabile uno switch-off coordinato delle reti in rame al fine di conseguire riduzioni di consumo significative e strutturali.

B. Impatto ambientale

La riduzione dei consumi energetici ottenibile attraverso lo switch-off completo delle infrastrutture di accesso in rame si traduce in una corrispondente diminuzione delle emissioni di gas serra associate all'esercizio della rete. In base alle stime del modello, lo switch-off della rete in rame in Italia consentirebbe di ridurre le emissioni di anidride carbonica di 125 kton di CO₂ equivalenti per anno. Si può notare tuttavia che, a parità di energia risparmiata, l'entità della riduzione delle emissioni dipende dal mix energetico utilizzato per alimentare la rete di accesso. In particolare, se in un Paese come la Francia il mix energetico dominato da fonti di energia nucleare consente di avere un impatto contenuto della rete in rame in termini di carbon footprint, molto più significativo è il contributo delle infrastrutture in rame in termini di emissioni se il mix di generazione elettrica è ad alta prevalenza di fonti di energia non rinnovabili. In tali condizioni, la riduzione dei consumi determinata dal completo switch-off di una rete in rame comporta una riduzione delle emissioni fino al 50% superiore rispetto allo scenario considerato da questo studio (185 kton di CO₂ equivalenti per anno negli Stati Uniti).

Ne consegue che lo switch-off della rete in rame rappresenta non soltanto una misura di efficientamento energetico delle reti di telecomunicazione, ma anche una leva strutturale per la riduzione della carbon footprint delle infrastrutture digitali, particolarmente rilevante in contesti in cui il processo di decarbonizzazione del sistema elettrico è ancora in fase di consolidamento.

5. IL FATTORE TEMPO: RITARDARE LO SWITCH-OFF DEL RAME COMPORTA COSTI SISTEMICI EVITABILI

Il fattore tempo riveste un ruolo determinante nella transizione verso reti di accesso interamente in fibra. Ogni anno di ritardo nello switch-off del rame prolunga, infatti, l'operatività di infrastrutture energivore e meno resilienti, caratterizzate da un utilizzo progressivamente meno efficiente dell'energia, generando costi cumulativi crescenti in termini di domanda energetica e impatto ambientale. D'altra parte, l'analisi condotta mostra che una transizione accelerata consente di ridurre in modo sostanziale l'energia complessivamente consumata durante il periodo di migrazione. La tempistica dello switch-off riveste pertanto un ruolo chiave nel massimizzare i benefici energetici e ambientali della transizione.

La Figura 2 mostra la stima del risparmio energetico, dovuto al graduale switch-off della rete in rame, cumulato su un orizzonte temporale decennale a decorrere dall'anno zero, che rappresenta lo scenario di partenza. Oltre al caso in cui lo switch-off si completi in dieci anni, si analizzano diversi scenari evolutivi intermedi, che prevedono un'anticipazione del completamento dello spegnimento. Sull'ascissa del grafico è riportato l'anno in cui si assume avvenga la migrazione forzata di tutti gli utenti legacy residui verso FTTH, determinando quindi il completo switch-off della rete in rame. Nel caso in cui il completo switch-off venga realizzato al decimo anno, il risparmio energetico complessivo nel decennio considerato è ottenuto sommando, per ciascun anno, i contributi derivanti dalla migrazione spontanea degli utenti verso FTTH e il contributo addizionale osservato al decimo anno, corrispondente allo spegnimento completo delle utenze legacy residue, che determina la riduzione di consumo più significativa. Qualora il completo switch-off della rete in rame venga anticipato rispetto al decimo anno, il profilo del risparmio energetico si modifica in modo sostanziale. In tal caso, infatti, a partire dall'anno in cui avviene lo spegnimento completo delle utenze legacy, il risparmio energetico annuo rimane costante e pari a quello osservato nell'anno di switch-off per tutti gli anni successivi compresi nell'orizzonte temporale considerato. Ne deriva che l'anticipazione dello switch-off estende nel tempo i benefici energetici massimi, incrementando significativamente il risparmio cumulato complessivo. I risultati riportati nel grafico mostrano chiaramente che una transizione accelerata consente di ridurre in modo sostanziale l'energia consumata nel periodo di migrazione. In particolare, anticipare lo switch-off rispetto a uno scenario di spegnimento graduale consente di conseguire risparmi energetici cumulativi superiori a 4 TWh nell'arco di dieci anni, corrispondenti a un beneficio complessivo fino a quasi un ordine di grandezza superiore rispetto a uno scenario caratterizzato da una migrazione lenta e non coordinata. Per contro, ogni anno di ritardo nello switch-off comporta il mantenimento in esercizio di apparati legacy ad elevato consumo energetico e determina una perdita irreversibile di potenziale risparmio energetico.

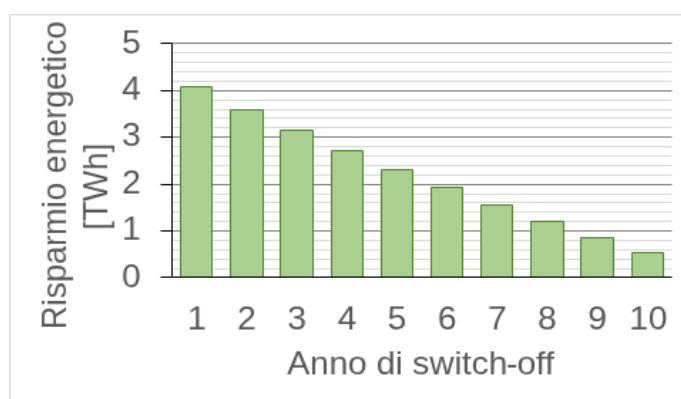


Figura 2 - Stima del risparmio energetico cumulato su un orizzonte decennale, assumendo di anticipare il completo switch-off della rete di accesso in rame nell'anno riportato sull'ascissa.

Tali differenze osservabili in termini di risparmio energetico in funzione delle diverse tempistiche di spegnimento completo della rete in rame si riflettono sull'impatto ambientale complessivo della transizione. Considerando l'energia risparmiata lungo l'intero periodo di migrazione, lo switch-off anticipato delle reti in rame consente di ottenere una riduzione cumulativa delle emissioni di CO₂ equivalente dell'ordine di centinaia di migliaia di tonnellate, con valori che possono raggiungere o superare 1 MtonCO₂e, in funzione delle ipotesi adottate sul mix di generazione elettrica. Al contrario, un posticipo dello spegnimento riduce in modo significativo il contributo complessivo della transizione al conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

A titolo esemplificativo, il risparmio energetico annuo associato a una rete di accesso interamente in fibra rispetto scenario attuale è equivalente alle emissioni annue di circa 80.000 veicoli o al consumo energetico di

30.000 abitazioni. Le riduzioni cumulative di emissioni che si possono conseguire anticipando lo switch-off completo del rame evidenziano pertanto come le scelte temporali relative allo spegnimento delle reti legacy abbiano un impatto ambientale di scala sistemica.

Nel complesso, questi risultati confermano che il fattore tempo non è neutrale: anticipare lo switch-off delle reti in rame consente di massimizzare i benefici energetici e ambientali della transizione, mentre il loro posticipo comporta perdite cumulative difficilmente recuperabili, con impatti significativi sui costi energetici e sulla sostenibilità ambientale. La definizione di tempistiche chiare e coordinate per lo spegnimento delle infrastrutture legacy emerge pertanto come una condizione essenziale per trasformare la transizione verso reti full-fiber in un contributo concreto e misurabile agli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione del settore delle telecomunicazioni.

6. CONCLUSIONI

Lo switch-off della rete in rame in favore di una rete di accesso interamente ottica comporta benefici in termini di riduzione dei consumi energetici stimati intorno al 86%. Questa riduzione è dovuta a minor fabbisogno energetico dei dispositivi ottici e al minor numero di dispositivi necessari.

Per raggiungere questi benefici in termini di riduzione dei consumi non è sufficiente trasferire la maggior parte degli utenti dalla rete in rame alla rete in fibra, gli apparati della rete in rame devono essere spenti per evitare i consumi, predominanti, dovuti al loro mantenimento in esercizio. Strategie di trasferimento o incentivazione al trasferimento degli utenti da tecnologia in rame a tecnologia ottica dovrebbero favorire lo spegnimento della rete in rame per zone piuttosto che un suo graduale e uniforme svuotamento. Tali strategie di accelerazione tecnica, tuttavia, dovrebbero tuttavia essere accompagnate da **campagne di alfabetizzazione** per mitigare la resistenza sociale verso il pieno dispiegamento della fibra.

Il periodo di coesistenza della rete in rame e quella ottica dovrebbe essere abbreviato il più possibile per massimizzare i vantaggi dello switch-off. Rispetto a ipotesi di uno spegnimento in 10 anni, risparmi fino a diversi TWh sono possibili e auspicabili.