

# Wireless Mesh: quando senza fili è l'intera rete

Antonio Capone

Le reti wireless Mesh sono reti completamente wireless che hanno come obiettivo quello di liberare le reti WiFi dai collegamenti cablati necessari a collegare tra loro gli access point. Esse possono essere usate in tutti gli scenari dove installare una infrastruttura di rete cablata non è possibile o economicamente conveniente, come nelle reti industriali, le reti wireless municipali (città piccole e grandi e zone non ancora raggiunte dai servizi a larga banda), le reti temporanee, gli edifici storici e le aree protette ecc. Molte applicazioni possono essere abilitate sulle reti wireless mesh come l'accesso a Internet domestico e quello nomadico, la video sorveglianza, i servizi Voip privati e pubblici, il monitoraggio ambientale, i servizi informativi per il cittadino e il turista, e molte altre.

## Keyword

*Reti wireless, Reti Mesh, WiFi.*

L'idea di base del mesh networking è più generale della tecnologia WiFi con cui è stata finora implementata. Essa consiste nella possibilità di creare reti fortemente flessibili e dinamiche costituite da piccoli apparati che sono in grado di autoconfigurarsi ed adattarsi automaticamente alle situazioni in cui si trovano ad operare senza richiedere grossi sforzi di pianificazione e manutenzione come le reti tradizionali. Per questo il mesh networking può essere di fatto reso indipendente dalla tecnologia di trasmissione utilizzata per interconnettere gli apparati, sia essa wireless o anche cablata.

## Limiti delle tecnologie wireless tradizionali

Le tecnologie wireless hanno rivoluzionato negli ultimi vent'anni il modo di intendere i servizi di comunicazione e più in generale l'accesso all'informazione, aprendo un vasto insieme di possibilità in termini di servizi e applicazioni e modificando profondamente le abitudini di miliardi di utenti. Il loro successo risiede nella capacità di dare risposta alle forti esigenze di mobilità e di raggiungibilità continua che hanno segnato la nascita della comunicazione personale e la fine della comunicazione tra luoghi fissi.

I primi protagonisti di questo cambiamento sono stati i sistemi cellulari che hanno consentito di estendere il servizio telefonico tradizionale agli utenti mobili. Successivamente abbiamo assistito allo sviluppo veloce dei servizi dati e all'inizio dell'era di Internet mobile. Oggi è sotto gli occhi di tutti la diffusione tumultuosa di una vasta varietà di applicazioni che stanno non solo modificando la comunicazione personale ma anche migliorando molti processi industriali con un accesso facilitato alle informazioni e strumenti di comunicazione

---

A. Capone, Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione (DEI).

diretta tra dispositivi.

Le tecnologie radio sviluppate nel corso degli anni sono molto diverse tra loro non solo a causa dello sviluppo veloce delle conoscenze tecniche, ma anche per rispondere alle diverse esigenze di mercato che sono state di volta in volta identificate e alle regole di utilizzo delle frequenze radio che sono state decise dalle autorità internazionali. Proprio in base alla modalità di accesso allo spettro radio è opportuno distinguere tra le reti operanti su frequenze licenziate, come i sistemi cellulari e WiMax, e le reti operanti su frequenze non licenziate come WiFi e Hiperlan. Le prime sono caratterizzate da una notevole complessità tecnica e costi delle infrastrutture e dei servizi mediamente elevati. Le seconde al contrario hanno soluzioni che privilegiano la semplicità e consentono infrastrutture leggere e costi contenuti.

Indipendentemente dalla specifica tecnologia utilizzata, il modello di rete largamente utilizzato finora è quello delle reti di accesso wireless in cui il collegamento senza fili è solo l'ultimo tra il terminale d'utente e una stazione di accesso, denominata stazione radio base o access point in base alla tecnologia. Il resto della rete dietro la stazione d'accesso è costituita da collegamenti punto-punto quasi sempre cablati che costituiscono uno dei costi più rilevanti dell'intera infrastruttura di rete e il limite principale allo sviluppo della sua capacità di traffico verso sistemi a larghissima banda.

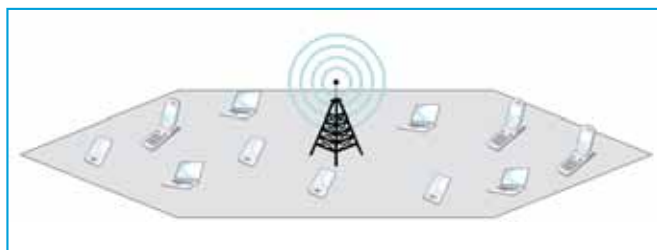
I costi elevati della parte cablata sono ovviamente legati principalmente alla realizzazione delle opere civili negli edifici e lungo le strade o al noleggio di banda dagli operatori, mentre per comprendere le limitazioni che essa pone allo sviluppo dei servizi a banda larga occorre analizzare quali sono i fattori principali che determinano la quantità di banda (velocità dati) disponibile per ciascun utente del sistema, che sono:

- la velocità di trasmissione della tecnologia wireless utilizzata
- il numero di utenti con cui tale velocità viene condivisa
- la velocità della rete cablata a cui le stazioni d'accesso sono collegate.

Le velocità consentite dalle moderne tecniche di trasmissione

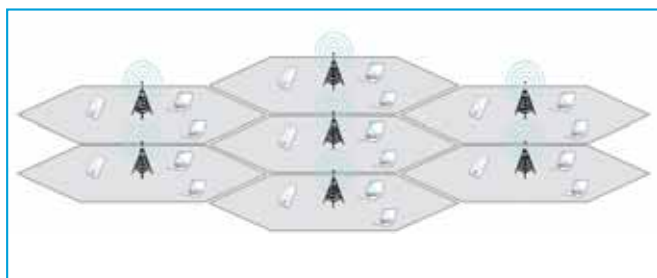
radio cominciano ad essere abbastanza elevate (dalle decine di Mb/s di WiFi, Hiperlan e WiMax alle centinaia di Mb/s di WiFi 11n e LTE), ma sono in ultima analisi limitate dalle piccole quantità di spettro radio rese disponibili dalle autorità di regolamentazione e dalla propagazione del segnale radio che di fatto consente di raggiungere le velocità massime nominali solo se il terminale d'utente si trova vicino alla stazione di accesso.

La distanza consentita dal terminale alla stazione d'accesso, che determina la dimensione effettiva della cella di copertura, è anche il fattore chiave che influenza il numero di utenti che condividono l'accesso e dunque la velocità disponibile per ciascuno. Infatti, anche se la velocità di trasmissione è elevata ma la cella è grande, elevato sarà anche il numero di utenti che nella stessa cella dovranno dividerla, determinando una velocità per utente bassa (figura 1). Questo è ad esempio il caso delle grandi celle WiMax con raggi di alcuni chilometri che sono sicuramente utili a dare connettività ad aree a bassa densità di utenti, ma non a fornire servizi a banda larga in zone ad alto traffico.



**Figura 1 - Scenario macro-cellulare con celle di grandi dimensioni e velocità condivisa da molti utenti**

Per fornire alta velocità a ciascun utente occorre utilizzare celle piccole (in zone urbane di alcune centinaia di metri al più) e raggiungere ciascuna stazione d'accesso con collegamenti ad alta velocità per infrastruttura (figura 2). Naturalmente con l'approccio tradizionale ciò rende ancora più complessa e costosa la creazione dell'infrastruttura di rete cablata che deve necessariamente essere molto capillare.



**Figura 2 - Scenario micro-cellulare con celle di piccole dimensioni e basso numero di utenti per cella**

Più in generale, l'infrastruttura cablata rappresenta la principale voce di costo non solo negli scenari micro-cellulari necessari per i servizi a larga banda, ma anche in molte applicazioni che richiedono il collegamento di numerosi punti di

raccolta informazioni (come nei sistemi di videosorveglianza, monitoraggio ambientale, automazione industriale ecc.) e quando lo scenario rende particolarmente complesso posare dei cavi (edifici storici, aree protette, manifestazioni temporanee ecc.). Inoltre, il cablaggio richiede tempi di realizzazione normalmente elevati che sono non solo negativi in sé ma spesso possono creare disagio alle attività che si svolgono nell'area.

Per queste ragioni, negli ultimi anni la ricerca scientifica si è concentrata nella ricerca di una soluzione che consenta di sostituire in tutto o in parte l'infrastruttura cablata con una rete anch'essa wireless come quella d'accesso. Il *wireless mesh networking*, che si è recentemente affacciato sul mercato, rappresenta il frutto di questo lavoro di ricerca e la nuova frontiera delle reti wireless [1].

## La nuova frontiera del mesh networking

L'idea di creare reti completamente wireless ha fortemente stimolato la ricerca scientifica e tecnica negli ultimi decenni sotto la spinta del progresso delle tecnologie di trasmissione radio e dei finanziamenti erogati per la ricerca a livello internazionale (anche dai militari, come per le origini di Internet). Per alcuni scenari applicativi (principalmente militari) la rete può essere creata direttamente tra terminali d'utente (rete "ad hoc"), oppure tra le stazioni d'accesso (rete "mesh", figura 3). La caratteristica principale di questa tecnologia è l'estrema adattabilità alle condizioni operative che consente di creare velocemente la rete e di limitare al minimo le operazioni di gestione degli apparati, che devono essere in grado di configurarsi autonomamente e di reagire velocemente ad ogni cambiamento del sistema (guasti di apparati o collegamenti, modifiche delle condizioni di propagazione, mutate condizioni di traffico ecc.). In molti ambiti applicativi il mesh networking rappresenta oggi un nuovo paradigma di interconnessione in grado superare i limiti delle tecnologie wireless tradizionali da un lato e dell'approccio IP tradizionale dall'altro.

Per evitare confusione con la terminologia, occorre sottolineare che la semplice sostituzione di alcuni collegamenti dell'infrastruttura di rete cablata delle reti wireless d'accesso con collegamenti radio punto-punto non è definibile come mesh networking. Ad esempio la tecnologia WiFi prevede la possibilità di creare un *Wireless Distribution System* (WDS) costituito da collegamenti radio invece che cablati. I collegamenti sono gestiti (a livello 2) con tabelle di inoltro (bridging) statiche normalmente configurate manualmente. Tale soluzione è ovviamente percorribile solo per reti di piccolissime dimensioni, non è flessibile alle condizioni operative e richiede un certo sforzo di gestione di rete. In modo analogo è possibile utilizzare ponti radio (di qualunque tipo) in sostituzione dei collegamenti cablati all'interno ad esempio di una infrastruttura di rete IP. Questa soluzione, se la topologia di rete utilizzata non è magliata risulta particolarmente vulnerabile ai guasti, mentre negli altri casi è limitata dalla complessità di gestione e dai lunghi tempi di reazione tipici della tecnologia IP tradizionale.

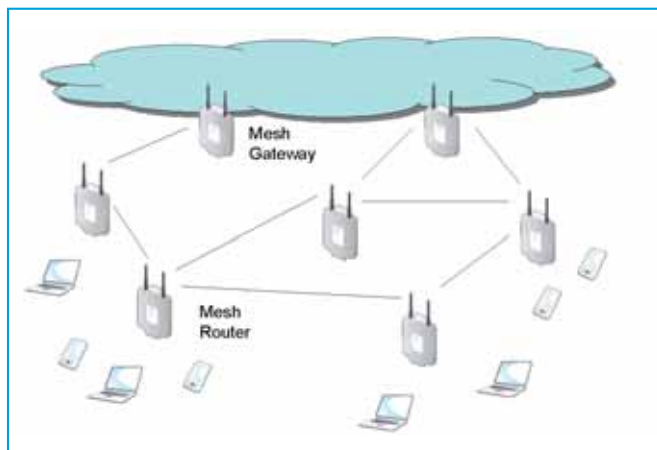


Figura 3 - Schema di principio di una rete Mesh

Le reti wireless mesh sono una tecnologia molto più evoluta rispetto alle semplici soluzioni appena descritte e si basano sui nuovi protocolli ed algoritmi di controllo che costituiscono il nuovo paradigma di networking wireless frutto della più avanzata ricerca scientifica internazionale. I dispositivi di rete (mesh router) devono essere in grado di configurarsi in modo automatico e di adattarsi autonomamente alle condizioni operative. I protocolli di rete devono gestire l'instradamento in modo dinamico scegliendo il miglior percorso in base alle condizioni di propagazione/interferenza e alle frequenze utilizzate. Tutti o alcuni dei dispositivi di rete devono poter svolgere in modo flessibile le funzioni di stazione di accesso wireless fornendo copertura ai terminali d'utente. Uno o più dispositivi devono fungere da gateway verso internet e definendo il confine della rete mesh.

Solo i migliori apparati sul mercato rispondono a queste caratteristiche e si distinguono in base alla qualità ed efficacia delle soluzioni adottate. La ricerca svolta nel laboratorio *AntLab* (Advanced Network Technologies Laboratory) del Politecnico di Milano ha consentito lo sviluppo di soluzioni per reti mesh innovative e uniche a livello internazionale [2]-[7]. Tali soluzioni sono alla base dell'offerta dello spin-off del Politecnico di Milano denominato *MobiMesh*.

## Scenari applicativi

La grande flessibilità ed adattabilità delle reti wireless mesh le rendono utilizzabili per un ampio spettro di scenari sia indoor che outdoor che ibridi. Le applicazioni sono numerose ed includono in generale tutti quegli ambiti nei quali risulta complesso, impossibile o troppo costoso effettuare un cablaggio (come le reti wireless municipali, reti anti-digital divide, reti per la pubblica amministrazione, reti industriali, porti e grandi stazioni, aree protette e palazzi storici, vaste aree verdi, ospedali e centri di cura ecc.), le reti di monitoraggio e controllo (video e audio sorveglianza, monitoraggio ambientale di aree di aree naturali e urbane ecc.), e le installazioni di reti temporanee (scenari di protezione civile, eventi, fiere, raduni, concerti ecc.).

### Reti Wireless Municipali

Le reti mesh sono una soluzione ideale per la realizzazione di reti wireless municipali in grado di fornire copertura a grandi aree urbane oltre che connettività e servizi a valore aggiunto sia commerciali che di pubblica utilità a numerose categorie di utenti. Il basso costo di installazione e la grande flessibilità risultano elementi vincenti per questo tipo di applicazioni.

Il fenomeno delle reti municipali wireless sta invadendo le grandi come le piccole città di tutto il mondo. Spesso si pensa a queste grandi reti semplicemente come a reti WiFi estese nell'intera città. In realtà si tratta nella quasi totalità di casi di reti wireless mesh che sono utilizzate per la creazione di una copertura WiFi su larga scala con circa 10-20 mesh router per chilometro quadro. Esistono ovviamente anche casi di reti municipali in tecnologia WiFi tradizionale, ma di solito questi sono limitati a piccole aree di copertura con poche decine di dispositivi al più. Infatti, la maggior parte delle città non possiede un cablaggio in fibra ottica capillare in grado di portare collegamenti a larga banda ad un reticolo di access point distanti 200-300 metri, e una sua realizzazione comporterebbe ovviamente costi e tempi elevati.

Attualmente, la situazione di regolamentazione delle frequenze e di costi delle interfacce radio da una lato, e la diffusione di terminali di utenti dall'altro fanno sì che il mix di tecnologie più adatto ed economicamente conveniente preveda l'uso di WiFi in banda non licenziata a 2.4GHz per l'accesso (802.11b/g) e di tecnologie in banda non licenziata a 5GHz per il *backbone wireless* (802.11h e Hiperlan).

### Wireless Internet e anti-digital divide

L'approccio mesh risulta particolarmente adatto a realizzare reti per *Wireless Internet Service Provider* (Wisp) grazie alla flessibilità ed adattabilità della soluzione. I Wisp che operano con tecnologia IP tradizionale conoscono la complessità di configurazione, gestione e monitoraggio di reti di questo tipo sia in situazioni di normale funzionamento sia quanto vi sono dei malfunzionamenti. La soluzione mesh consente di semplificare e ridurre i costi di gestione oltre che di aumentare l'affidabilità dell'intera rete. Le caratteristiche dell'infrastruttura wireless, infatti, garantiscono protezione da guasti grazie all'instradamento dinamico del traffico dati che si adatta velocemente alle condizioni di funzionamento ottimizzando i percorsi e la banda. È, inoltre, possibile estendere l'area di copertura della rete e migliorare la qualità della copertura installando dei nodi mesh presso alcuni clienti al posto delle CPE. Negli scenari tipici di reti anti-digital divide, l'architettura mesh consente di gestire agevolmente i collegamenti a lunga distanza verso il punto di presenza dell'operatore internet, di collegare tra loro aree di copertura di agglomerati urbani vicini aumentando affidabilità e capacità, e di utilizzare gateway multipli.

### Sistemi di sorveglianza

La sicurezza nelle strade delle città e nelle aree pubbliche in generale può essere migliorata con sistemi di sorveglianza remota basati su telecamere, così come anche su sensori audio o di presenza.

