

Reti mobile: dalla RFC 791 alla RFC 5944

Salvatore Capolupo

Marzo 2026

Sommario

Il presente documento analizza l'estensione della mobilità all'interno della suite TCP/IP. Partendo dai limiti strutturali dell'instradamento IPv4 tradizionale (RFC 791), si esamina l'implementazione della RFC 5944 (Mobile IP). L'elaborazione integra i vincoli dello strato fisico wireless, le problematiche di interferenza e i meccanismi di tunneling necessari per mantenere la continuità di sessione durante il movimento di un nodo tra diverse sottoreti.

1 Limiti dello Stack TCP/IP e Ripasso RFC 791

Il cuore del networking moderno risiede nella **RFC 791 (Internet Protocol version 4)**. Questo standard è stato concepito per una rete di nodi statici.

1.1 Funzionamento Generale della RFC 791

In IPv4, l'indirizzo IP a 32 bit svolge due funzioni contemporaneamente:

1. **Endpoint Identifier:** Identifica in modo univoco l'interfaccia di un host.
2. **Locator:** Indica la posizione topologica dell'host all'interno della gerarchia di routing.

I router instradano i pacchetti basandosi sul *prefisso di rete*. Se un pacchetto è destinato a un host, i router lo inoltrano verso la rete che "possiede" quel prefisso.

1.2 Il Limite dello Stack

Lo stack TCP/IP standard fallisce strutturalmente di fronte alla mobilità. Quando un host si sposta in una nuova sottorete:

- **Perdita di instradamento:** Se mantiene il suo IP originale (*Home Address*), i router della nuova rete non sapranno come gestire i pacchetti in uscita e i pacchetti in entrata continueranno a essere inviati alla rete di origine.
- **Rottura delle sessioni:** Se cambia IP per adattarsi alla nuova rete (es. tramite DHCP), tutte le connessioni TCP attive cadono. Il protocollo TCP identifica una connessione tramite la "quadrupla" (IP sorgente, Porta sorgente, IP destinazione, Porta destinazione); cambiando un IP, la sessione non è più valida.

2 Problematiche Fisiche e Teoria delle Celle

Prima di risolvere il problema a livello software, è necessario considerare i limiti del mezzo trasmissivo wireless.

2.1 Interferenze e Nodi Nascosti

Il supporto radio è soggetto a **interferenze** (rumore elettromagnetico) e fenomeni di *fading*. Un problema critico è il **Nodo Nascosto (Hidden Node)**: si verifica quando due nodi, A e C, sono entrambi nel raggio di un Access Point B, ma non possono rilevarsi a vicenda. Se trasmettono contemporaneamente, i loro segnali collidono presso B senza che A o C se ne accorgano, degradando le prestazioni dello stack.

2.2 Cenno Sostanziale sul Funzionamento delle Celle

Per gestire la copertura geografica, le reti wireless utilizzano una struttura a celle. Per minimizzare l'interferenza tra celle che usano la stessa frequenza, si definisce un rapporto tra la distanza di riuso (D) e il raggio della cella (R). Dal documento di riferimento, la formula che governa il rapporto Segnale/Interferenza (S/I) in un sistema cellulare con cluster di dimensione K è:

$$\frac{S}{I} \approx \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} \right)^\alpha = \frac{1}{6} (3K)^{\alpha/2} \quad (1)$$

Dove α è il coefficiente di attenuazione del mezzo. Questa formula spiega perché la mobilità richieda un delicato equilibrio: aumentare K riduce l'interferenza ma diminuisce la capacità totale del sistema.

3 Architettura e Indirizzamento RFC 5944

La RFC 5944 risolve i limiti della RFC 791 separando l'identità dalla posizione.

3.1 Entità Logiche e Indirizzamento

Lo standard introduce tre attori e due tipologie di indirizzi:

- **Mobile Node (MN)**: L'host che cambia punto di accesso. Possiede un **Home Address (HoA)** permanente.
- **Home Agent (HA)**: Un router nella rete "di casa" che intercetta i pacchetti per il MN.
- **Foreign Agent (FA)**: Un router nella rete visitata che assiste il MN e gli fornisce un **Care-of Address (CoA)**.

Il **CoA** rappresenta la posizione attuale e funge da punto terminale del tunnel verso l'HA.

4 Protocollo Operativo Passo dopo Passo

Il funzionamento si articola in tre fasi distinte:

1. **Agent Discovery:** Il MN, appena connesso, riceve messaggi di *Agent Advertisement* (estensioni ICMP). Se il prefisso ricevuto differisce dal suo HoA, il MN capisce di essere in una rete ospite e ottiene un CoA.
2. **Registration:** Il MN invia una richiesta di registrazione al FA, che la inoltra all'HA. L'HA crea un legame (*binding*) tra l'HoA e il nuovo CoA. Da questo momento, l'HA sa dove "paracadutare" i pacchetti.
3. **Tunneling (Incapsulamento):** Quando un mittente invia un pacchetto all'HoA del MN:
 - Il pacchetto arriva alla rete di casa tramite routing standard (RFC 791).
 - L'HA lo intercetta e crea un **tunnel**: inserisce il pacchetto originale dentro un nuovo pacchetto IP (*IP-within-IP*) indirizzato al CoA.
 - Il FA riceve il pacchetto, lo "scarta" (decapsulamento) e consegna l'originale al MN.

5 Esempio di Funzionamento

Un MN con HoA 1.1.1.1 si sposta in una rete esterna.

- Riceve dal FA il CoA 2.2.2.2.
- L'HA (1.1.1.254) registra che 1.1.1.1 si trova ora presso 2.2.2.2.
- Un server (8.8.8.8) invia dati a 1.1.1.1.
- L'HA crea un pacchetto: **Sorgente:** 1.1.1.254, **Destinazione:** 2.2.2.2. All'interno risiede il pacchetto originale di 8.8.8.8.

6 Il Tassello Mancante per l'Accesso a Internet

Sebbene la RFC 5944 permetta la raggiungibilità dell'host, essa da sola non garantisce la navigazione su Internet. Per un accesso completo, sono necessari ulteriori passaggi:

- **Gateway e DNS:** Il MN deve ricevere tramite il FA o DHCP i parametri di un DNS (RFC 1035) per risolvere i nomi di dominio, e deve definire una *Default Route* che gli permetta di uscire verso la rete globale.
- **Reverse Tunneling:** Spesso i router della rete ospite scartano i pacchetti in uscita dal MN se l'indirizzo sorgente è l'HoA (anti-spoofing). In questo caso, il MN deve inviare il traffico indietro all'HA tramite un tunnel inverso prima che venga immesso in Internet.
- **NAT:** Se l'HoA è un indirizzo privato, l'Home Agent deve effettuare la traduzione degli indirizzi (NAT) prima di inoltrare le richieste verso il web pubblico.

Senza questi componenti, la RFC 5944 rimane un sistema di raggiungibilità "punto-punto", incapace di supportare la navigazione web standard.