

**POLITECNICO DI MILANO**

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea Specialistica in Reti di Telecomunicazioni**

**Dipartimento di Elettronica e Informazione**



## **Il backhauling nelle reti di nuova generazione**

**Relatore: Prof. Ing. Luca Reggiani**

**Tesi di Laurea di:**

**Marco Zhang**

**Matricola 749304**

**Anno Accademico 2012/2013**

## **INDICE**

<b>Introduzione .....</b>	<b>6</b>
---------------------------	----------

### **CAPITOLO I :TECNICHE DI COORDINAMENTO**

1.1 Cognitive Radio.....	8
1.2 Processi di cooperazione nei sistemi multicella.....	10
1.3 La condivisione dei dati.....	13
1.4 Diversità spazio-temporale.....	20
1.4.1 Sincronizzazione.....	21
1.4.2 Diversità di ritardo.....	21
1.4.3 Tolleranza al ritardo e codici Spazio-Tempo.....	22
1.4.4 Spreading Tempo- Spazio (STS).....	23

### **CAPITOLO II:**

#### **IMPATTO DELLE RETI DI NUOVA GENERAZIONE SUL BACKHAULING**

2.1 Obiettivi.....	25
2.1.1 Struttura e Terminologia.....	25
2.1.2 Requisiti dei sistemi HSPA+LTE/4G per il backhaul.....	27
2.1.3 Evoluzione della rete di backhaul: principali difficoltà.....	28
2.1.4 Panorama delle architettura fisica e logica.....	30
2.1.5 lo scenario ad anello.....	33
2.1.6 Applicazione dello scenario ad anello.....	34
2.2 Evoluzione dei sistemi di accesso radio.....	36
2.2.1 Lo sviluppo delle reti mobili.....	37
2.2.2 Macro e piccole celle e l'incremento della densità.....	38

2.2.3	Modelli di backhauling basati su protocolli IP e CPRI centralizzato.....	38
2.2.4	Panorama evolutivo delle reti d'accesso.....	41
2.2.5	Uno sguardo più ravvicinato al CPRI backhauling.....	42
2.2.6	Architettura del CPRI.....	44
2.2.7.	Configurazioni di riferimento del CPRI.....	45
2.2.8.	Descrizione del funzionamento tra RE e REC.....	46

### **CAPITOLO III**

#### **EVOLUZIONE DEL BACKHAULING E LONG TERM EVOLUTION**

3.1	Introduzione delle tecnologie per il backhauling.....	48
3.1.1	Supporto di rete.....	48
3.1.2	Dalle tecnologie di backhaul tradizionali a quelle emergenti.....	50
3.1.2.1	Reti di backhaul in rame e fibra ottica.....	50
3.1.2.2	Il backhaul wireless a microonde e satellitare.....	52
3.1.2.3	La Struttura dei collegamenti “Pseudowire”.....	54
3.1.2.4	Prospettive delle soluzioni wireless per il backhaul.....	55
3.1.2.4.1	Tecnologia di rete Wi-Fi.....	56
3.1.2.4.2	Tecnologia di rete WiMAX.....	57
3.1.2.5	Confronto tra Tecnologie di backhaul differenti.....	59
3.1.2.6	Tendenze delle reti basate su IP e le femtocelle.....	60
3.2	Impatto sul backhauling delle tecnologie 4G.....	61
3.2.1	Long Term Evolution Advanced.....	61
3.2.2	Valutazioni delle prestazioni LTE.....	62

3.2.3 LTE-Advanced —l’evoluzione del LTE verso IMT-Advanced.....	63
3.2.4 La messa in campo dei ripetitori.....	64
3.2.5 Il collegamento tra ripetitori e stazione base.....	65
3.2.6 Prestazioni.....	66
3.2.7 Tecnologia dei ripetitori nell’LTE-Advanced.....	66
3.2.8 Prestazioni in termini di throughput della messa in campo dei RN.....	68
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>70</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>72</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>74</b>

A tutti Coloro che intendono coltivare un sogno:

*‘La paura ti rende prigioniero, la speranza può renderti libero’*

*dal film "Le ali della libertà"*

# Introduzione

Il mondo delle Telecomunicazioni sta evolvendo molto in fretta, siamo passati da tecnologie di *seconda generazione (GSM)* nei primi anni '90, tecnologie sviluppate principalmente per il servizio voce, a quelle odierne di *quarta generazione (LTE)*, a larga banda per poter permettere un traffico dati ad altissima velocità.

I sistemi di nuova generazione si sono evoluti seguendo la richiesta sempre crescente degli utenti moderni, passando da tecnologie prevalentemente “voce” a tecnologie basate su “traffico dati” anche a causa della larghissima diffusione della Rete Internet.

La gestione di questo fenomeno ha introdotto nuove tecniche come le *Cognitive Radio* che rendono la rete sempre più dinamica e intelligente, adattandosi al traffico in maniera completamente autonoma.

Il rapido aumento di applicazioni che richiedono un utilizzo di banda sempre maggiore ha costretto i *service provider* a pensare delle soluzioni per gestire il traffico dati in maniera più fluida, cambiando gli apparati di rete.

Inoltre, vista l'interoperabilità dei nuovi sistemi, (alta capacità per rete fissa in fibra ottica) si estenderà tale velocità anche ai sistemi radio.

Si opererà principalmente sull'apparato di rete in maniera tale che gli utenti mobili non abbiano quello che viene definito *bottle-neck-effect*, cioè capacità molto elevate per la parte di rete fissa e invece limitate per quanto riguarda la parte Radio.

La grande novità che verrà introdotta è di tipo fisico in quanto gli apparati verranno cambiati sia per quanto riguarda le dimensioni delle celle (verranno introdotte le **femto-celle**) sia per quanto riguarda l'introduzione di tecniche più specifiche per aumentare il SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*) con l'introduzione delle Multi-Antenne MIMO (*Multiple Input-Multiple Output*).

Lo scopo dei nuovi sistemi a larga banda è quello di soddisfare la domanda sempre crescente degli utenti per offrire loro un servizio che può essere equipollente ai nuovi servizi di rete fissa che oggi raggiungono capacità molto elevate grazie alla fibra ottica.

Lo scopo principale di questa Tesi è volto a descrivere l'evoluzione che porterà il nuovo sistema di quarta generazione (*Long Term Evolution*, abbr. LTE) sia dal punto di vista del coordinamento dei dati d'utente che al cambiamento sugli apparati fisici della rete d'accesso. Nella prima parte verranno descritte in specifico le metodologie che saranno applicate per gestire il traffico dati sempre in aumento (i sistemi MIMO), che migliorano notevolmente le

prestazioni in termini di SINR rispetto alle tecnologie *Single-Antenna*, e i risultati nella gestione del CoMP (*Coordinated Multipoint*), cioè tecniche utilizzate per gestire il trasferimento dei dati sia lato trasmissione che lato ricezione, e la loro difficoltà di sincronizzazione per quanto riguarda l'ottimizzazione in termini di *Data Sharing*.

Nella seconda parte verranno approfonditi gli *Scenari* che riguarderanno la messa in campo dei nuovi sistemi a larga banda per la rete d'accesso (*Backhauling*) e quali mutamenti avverranno nella topologia di rete a causa dell'adattamento ai sistemi *ultra-broadband*.

Nella terza parte si concentrerà l'attenzione sull'impatto che i sistemi di nuova generazione avranno sulla rete di accesso (*backhaul*) e lo studio dei nuovi sistemi Long Term Evolution Advance (*LTE-Ad*).

# CAPITOLO I

## “Tecniche di coordinamento”

L'obiettivo del primo capitolo sarà quello di illustrare le nuove metodologie e strumenti che hanno permesso di rispondere alla crescente distribuzione del traffico negli ultimi anni da parte degli utenti radiomobili. Tale sviluppo ha portato alla necessità di gestire la richiesta degli utenti attraverso l'ottimizzazione della banda, come nel caso delle *Cognitive Radio*, attraverso cui si riesce a gestire la banda in maniera più autonoma grazie all'adattamento dinamico delle strutture al traffico.

In seguito andremo ad illustrare l'introduzione dei sistemi 4G che permetteranno di fornire più capacità in termini di bit rate, e le tematiche che coinvolgeranno la gestione del coordinamento degli utenti nelle celle attraverso i sistemi V-MIMO. In questo clima andremo ad analizzare l'impatto che il coordinamento produce sulla rete di backhauling in termini di segnalazione e di come questo può impattare la condivisione dei dati.

Infine verranno presentati delle metodologie che permetteranno di gestire la sincronizzazione causata dalla sinergia dei nuovi sistemi.

### 1.1 Cognitive Radio

La richiesta sempre crescente di servizi a larga banda ha costretto i *service provider* a studiare nuove soluzioni volte all'introduzione di nuove tecnologie che permettano di veicolare l'aumento di traffico di applicazioni multimediali attualmente in auge. Il numero di dispositivi mobili è in aumento e con esso il numero di applicazioni che richiedono un utilizzo della banda sempre crescente.

I sistemi di comunicazione wireless stanno diventando sempre più complessi e di difficile gestione, specialmente a causa di un elevato numero di tecnologie differenti e del veloce incremento della domanda per servizi ad alta qualità. In questo contesto le capacità delle *Cognitive Radio (CR)*, termine coniato da Mitola, (cit. Mitola, anno 2000 [4]) rappresentano una tecnologia radio intelligente che è in grado di rilevare i cambiamenti ambientali ed è capace di adattare il proprio comportamento basandosi sulla conoscenza a priori del contesto. Comunque la maggior parte delle ricerche nelle *Cognitive Radio* negli ultimi anni si è focalizzata solo sullo Spettro d'Accesso Dinamico (DSA). Solo pochi lavori hanno considerato il concetto generale delle *Cognitive Radio* ma non è stata effettuata nessuna implementazione pratica.



Soprattutto molti aspetti concettuali delle *Cognitive Radio* si sono focalizzati su nuovi sistemi radio stabili e sono stati pensati solamente per piccole applicazioni e per definire i principi del *Software Defined Radio* (SDR) rivolti a sistemi complessi come i sistemi cellulari.

Ad esempio nel progetto ARAGORN [5], sono state sviluppate ed implementate strutture con un *Cognitive Resource Manager* (CRM) che è basato sul concetto del *Cognitive Radio* di Mitola, permettendo una facile implementazione di un controllo altrimenti complesso e l'ottimizzazione tra i livelli e meccanismi di auto-apprendimento. La struttura CRM permette alle *Cognitive Radio* di conoscere il proprio ambiente e di configurare i suoi parametri ottimizzando i moduli a partire dai componenti kernel del controller.

Questo non fornisce solamente più modularità ma permette anche una integrazione più semplice con i sistemi ereditari attraverso interfacce ben definite.

Le interfacce aperte forniscono i mezzi al CRM per interagire con lo stack OSI, ottimizzando l'implementazione tra i livelli e le tecniche di apprendimento.

Queste interfacce sono ULLA (*Universal Link Layer APIs*), GENI (*Generic Network Interface*) and CAPRI (*Common Application Requirement Interface*).

ULLA è utilizzato per l'interazione con il livello Collegamento/Fisico, GENI per l'interazione con il livello Trasporto/Rete e CAPRI per imporre i requisiti del livello applicativo.

Dagli studi effettuati si è dimostrato che le interfacce ULLA/CRM possono fornire un'organizzazione efficiente per le risorse del sistema LTE.

A causa della loro neutralità verso le caratteristiche PHY/MAC di LTE, le stesse ULLA possono essere anche utilizzate per altre tecnologie d'accesso e altri sistemi. Questo fornisce ad ULLA/CRM la capacità di gestire l'utilizzo di risorse per piattaforme di tecnologie differenti.

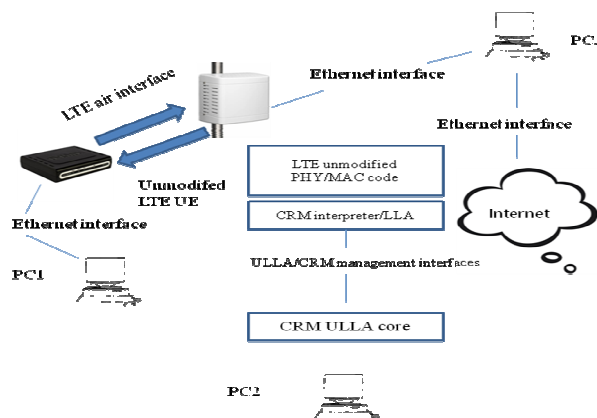


Fig.1 Architettura del sistema LTE [4]

Il CRM è responsabile della gestione delle funzioni ad alta astrazione oltre che di alcuni compiti del RRM, ereditando alcune sue funzioni.

Questo mostra che la migrazione verso nuovi approcci ULLA/CRM è di carattere adattativo. Si può scegliere un'evoluzione con una più graduale interazione che permetta alle due differenti architetture di coesistere e cooperare, se correttamente configurate.

Si è inoltre dimostrato che i meccanismi ULLA/CRM permettono di reagire ai cambiamenti del sistema e allo stato del collegamento radio, accordando i parametri del sistema per raggiungere un utilizzo più efficiente delle risorse. Algoritmi di controllo più evoluti potranno essere aggiunti al CRM come potenziali oggetti di studi futuri.

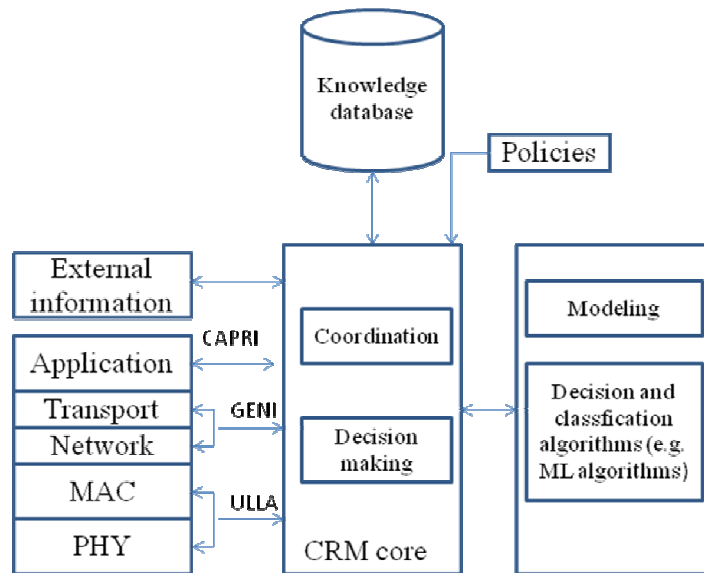


Fig.2 Architettura di alto livello della struttura CRM (I riquadri rappresentano I differenti componenti della struttura CRM) [4]

La possibilità di sfruttare nuovi meccanismi autonomi di tipo logico e fisico ha permesso lo studio di ulteriori tecniche che permettessero di aumentare la gestione della banda e il coordinamento crescente degli utenti che vanno sotto il nome di *tecniche in diversità*.

## 1.2 Processi di cooperazione nei sistemi multicella

Lo scenario che si sta sviluppando è quello dei sistemi di nuova generazione (4G) i quali utilizzano tecniche di coordinamento differenti dai sistemi precedenti (3G) facendo

affidamento sui sistemi in diversità spaziale e temporale con antenne **V-MIMO** (*Virtual Multiple Input e Multiple Output*).

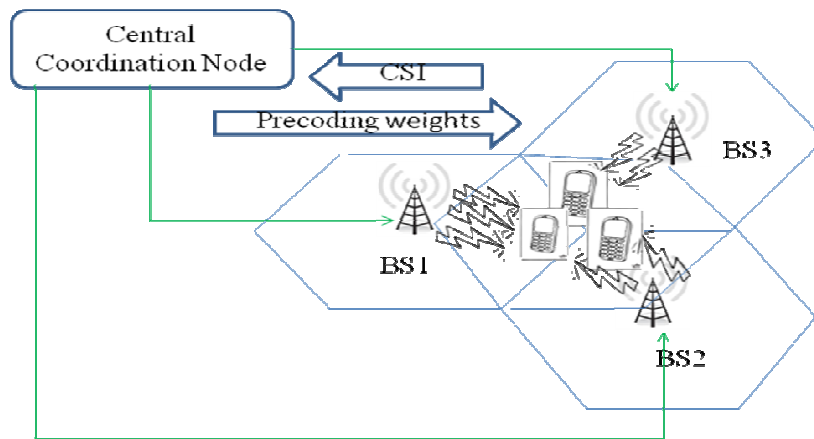


Fig.3 il layout del cluster, l'esagono in centro denota l'area del cluster presa in considerazione [4]

Come mostra la figura 3, uno dei problemi che vedono coinvolti i sistemi di nuova generazione è la gestione degli utenti all'interno del cluster. Il processo di cooperazione delle multicelle (**MCP**) è stato riconosciuto come una tecnica promettente per aumentare l'efficienza spettrale dei nuovi sistemi wireless futuri. Purtroppo la miglioria apportata dalla cooperazione va a scapito di un alto costo in termini di segnalazione (**feedback**) soprattutto per quanto riguarda la parte di gestione del *backhauling*.

Per quanto riguarda la trasmissione downlink a divisione di frequenza (*Frequency Division Duplex FDD*) gli utenti devono trasmettere la loro segnalazione in termini di informazione sullo stato del canale (*Channel-State-Information CSI*) verso il MCP scheduler ed i dati devono essere scambiati tra tutte le stazioni base che stanno cooperando (**BSs**) attraverso la rete del *backhauling*.

I sistemi MCP introducono un'importante sfida per quanto riguarda le segnalazioni verso la BSs che vengono dalla rete di *backhauling* in termini di carico sulla rete a scapito dell'ottimizzazione dell'utilizzo della banda. Tale sfida è ancora presa sotto esame nelle reti commerciali (come nella rete 3GPP *LTE-advance*). Infatti il *Throughput* del canale trasmittente, sul collegamento multi-utente Downlink V-MIMO, risente molto della segnalazione dovuta agli overheads CSI.

Quindi nei sistemi FDD che implementano tecniche V-MIMO multi-utente, i terminali (**MSs**), devono stimare il downlink CSI e inoltrare la segnalazione (disponibilità) allo

scheduler per la gestione dei MS e la precodifica. Definiamo questo carico come *feedback overhead*.

Questo overhead è molto più severo nei sistemi MCP piuttosto che nelle reti convenzionali *Single Cell Processing* (SCP) perché sotto la rete MCP gli utenti devono stimare la segnalazione (feedback) del CSI relativa a più BSs.

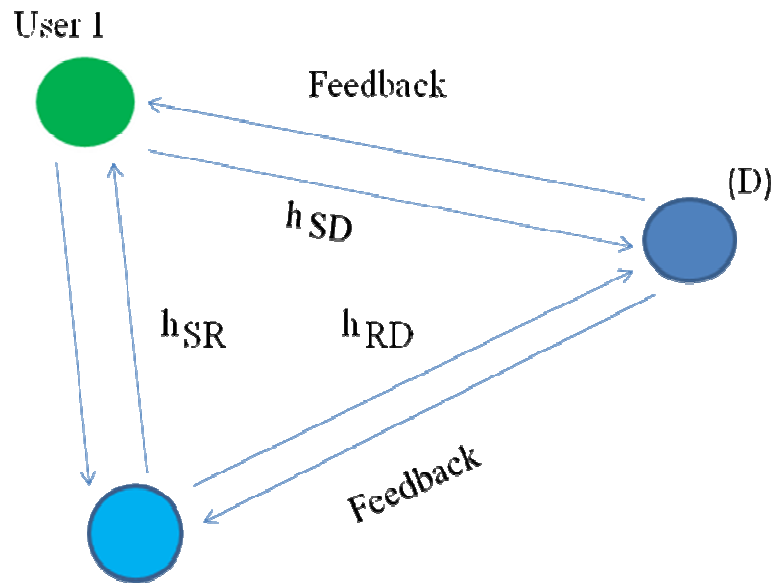


Fig.4 Tre nodi-ripetitori nella rete [4]

Quindi nelle reti MCP ogni BS trasmette potenzialmente verso un numero crescente di utenti contemporaneamente, utilizzando la tecnica *Space-Division Multiple Access* (SDMA) immagazzinando un numero di flussi di dati crescente.

Questo approccio colloca un ulteriore carico sui collegamenti del backhauling. Ci riferiremo a questo come *backhaul overheads*. Di conseguenza, i sistemi MCP necessitano che i collegamenti del backhauling siano ad alta capacità con stretta sincronizzazione, vincoli sul ritardo; ciò implica un elevato costo per la messa in campo di tali sistemi.

Quindi si desidera ridurre il carico del backhauling instradando i pacchetti solamente verso le BSs riducendone i costi. In aggiunta, attenuando i backhaul Overheads, si possono utilizzare i sistemi MCP in scenari in cui non sono inizialmente considerati praticabili, a causa dei limiti delle reti di backhaul.

Sono state ricercate varie tecniche per ridurre il carico di segnalazione CSI dei sistemi multi-utente V-MIMO nelle SCP, dove le BSs non cooperano, mentre nei sistemi MCP il carico è ancora più grande perché le MSs devono stimare il CSI relativo a tutte le BSs che cooperano e segnalano l'informazione allo Scheduler MCP centrale. E' da notare che queste tecniche

per ridurre la segnalazione sotto MCP e la segnalazione verso il backhauling sono state oggetto di molte ricerche, ma purtroppo non si è ancora riusciti ad attenuare entrambe le tipologie di segnalazione (overheads) contemporaneamente.

In accordo alla nostra struttura proposta per ridurre il carico di segnalazione, le MSs devono inoltrare al MCP scheduler un numero limitato di coefficienti di canale (CSI feedback) in ogni *time slot* come funzione di una soglia del SNR (*Signal-to-Noise-Ratio*).

In base all'architettura MCP implementata, ci potrebbe essere un MCP scheduler per gruppo BSs in cooperazione, collocato in un'unità di controllo interconnessa con le BSs.

Questo implicherebbe che le MSs concentrino le loro CSI feedback esclusivamente verso una sola BS e allora il CSI viene inoltrato verso l'unità di controllo centrale da tutte le BSs cooperanti affinché venga gestita la richiesta dell'utente.

Alternativamente, ci potrebbe essere un MCP scheduler per BS che potrebbe gestire la segnalazione in maniera decentralizzata, senza richiedere un'unità di controllo centrale e lo scambio di CSI con esso; questo implicherebbe che tutte le BSs che cooperano ricevono una segnalazione CSI da parte degli utenti all'interno dell'area di copertura.

### **1.3 La condivisione dei dati nella cooperazione multicella**

Si desidera proporre l'utilizzo della capacità del backhaul per convertire differenti tipi di messaggi: I messaggi privati trasmessi solamente da una delle stazioni base e messaggi condivisi trasmessi da più stazioni base. Si sono scelti dei valori di confronto per la regione dei tassi per affrontare il problema della configurazione a due celle

Le simulazioni illustreranno il miglioramento dell'approccio adottato con la suddivisione dei tassi e dimostreranno come una porzione di traffico che potrebbe essere condiviso cresce con il limite della capacità del backhaul.

L'approccio dei tassi suddivisi verrà comparato a quello relativo al metodo quantizzato che normalmente lo supera in prestazioni.

Dopo aver analizzato le difficoltà relative alla condivisione CSI (*CSI Sharing*) ci focalizzeremo sulla condivisione dei dati (*Data Sharing*) nell'organizzazione multicella.

Infatti, la piena condivisione dei dati coinvolge collegamenti di backhaul ad alta capacità, che non sempre potrebbe essere disponibile.

Il coordinamento dei dati condivisi consuma buona parte della capacità dei collegamenti del backhaul che altrimenti potrebbe essere utilizzata per trasportare più dati verso gli utenti.

Questo overhead dovrebbe essere compensato dalla capacità dell'interferenza di canale (*interference channel (IC)*).

Numerose ricerche hanno considerato le reti di *backhaul* a capacità finita. Per esempio viene studiata la codifica congiunta (*joint-encoding*) per il downlink di sistemi cellulari.

Dato per assunto che le BSs vengano connesse ad un'unità centrale attraverso collegamenti a capacità finita, i ricercatori stanno analizzando differenti schemi e metodi di utilizzo della capacità del backhaul nel contesto di una versione modificata del modello di canale di Wyner[7].

Una delle loro principali conclusioni è che la "codifica centrale con oblivious cells" per mezzo della quale segnali quantizzati che devono essere trasmessi da ogni BS, vengono calcolati nell'unità centrale, dopodiché vengono inoltrati sui collegamenti del backhaul. Questa soluzione sembra molto interessante poiché semplifica l'implementazione e le prestazioni nonostante venga richiesta un'alta capacità per i dati.

Se questo avviene, le BSs devono essere coinvolte nella codifica, e almeno una parte della capacità del collegamento del backhaul deve essere utilizzata per inviare i messaggi stessi e non le corrispondenti parole di codice. Un altro studio recente che tratta del modello del canale di Wyner[7], riguarda il problema del parziale scambio di messaggi tra BSs vicine come rapporto tra il guadagno di moltiplicazione per utente e il numero degli utenti stessi (nelle BSs): Questo risultato tende all'infinito.

Viene proposta una struttura ottimizzata del backhaul per il downlink di un sistema cellulare ampio. Una tale configurazione viene definita matrice a trasmissione congiunta. Questo specifica che le antenne nel sistema servono un gruppo di utenti. Il backhaul verso ogni BS è utilizzato per trasportare segnali quantizzati da trasmettere, calcolati centralmente, a meno che venga assunto un modello più realistico. Alternativamente il backhaul viene utilizzato per trasportare dati d'utente binari non codificati.

Imponendo vincoli di capacità finita ai collegamenti del backhaul, nascono continue ricerche e quesiti pratici, poiché ci si aspetterà più cooperazione tra le BSs nei sistemi di rete cellulare 4G nel futuro ed in particolare:

- Dati i vincoli del backhaul, assumendo che non tutto il traffico venga condiviso attraverso i trasmettitori, e assumendo che una certa parte rimanga privata al trasmettitore, quali tassi potrebbe raggiungere?

- Quanto può essere utile la condivisione dei dati quando sono presenti i vincoli di backhaul?
- Quali sono i vantaggi dei tassi raggiunti con la condivisione dei dati paragonati a quelli senza quando vi sono vincoli sul backhaul?
- Esiste un lower-bound sotto il quale non conviene utilizzare tale metodo?

Cercheremo di rispondere a queste domande considerando un'organizzazione nella quale un tasso finito di backhaul connette la rete con ognuna delle BSs, e ci concentreremo su come utilizzare il backhaul per servire gli utenti nel sistema. Per semplificare l'esposizione, ci focalizzeremo inoltre sul modello a due celle.

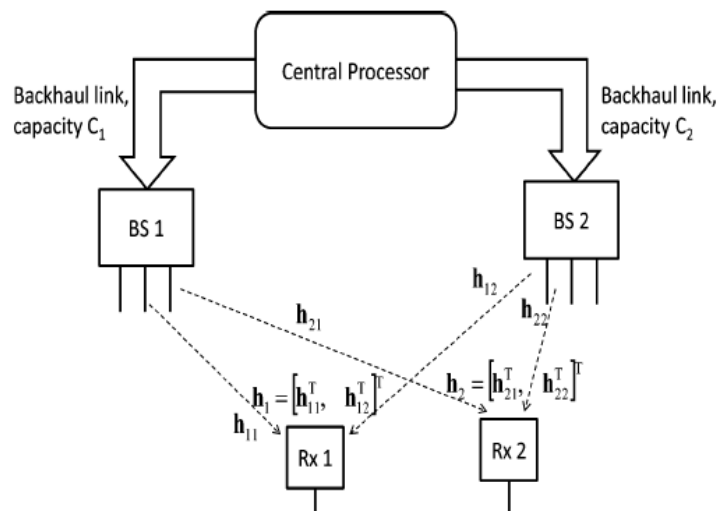


Fig.5 Implementazione del backhaul vincolato. Vengono rappresentati i tassi dei messaggi che vengono trasportati sopra ad ogni collegamento del backhaul. Si assume che il processore centrale raccolga tutto il traffico downlink e poi lo instrada verso traffico individuale non condiviso o verso entrambi i trasmettitori (con traffico condiviso) [6]

Viene presentato uno schema di trasmissione per mezzo del quale viene utilizzata una codifica sovrapposta per poter trasmettere segnali ad ogni utente. Ogni dato d'utente è infatti catalogato in due modi differenti, "privato" cioè dati inviati da una singola BS e "condiviso", dati che vengono trasmessi attraverso molteplici BSs. Così il rapporto di traffico tra quello *privato* e quello *condiviso* corrisponde ad un canale ibrido che teoricamente potrebbe essere considerato un intermediario tra il *V-MIMO Broadcast channel* ("Network MIMO") e il canale *IC*.

Intuitivamente questo approccio dovrebbe essere utile poiché permette di regolare quanti dati vengono condivisi in funzione dei vincoli del backhaul.

Se la capacità del backhaul è troppo limitata, potrebbe essere meglio servire semplicemente ogni utente grazie ad una singola base station piuttosto che instradare i messaggi da due base stations differenti.

Questo perché sebbene la condivisione dei dati permetta di convertire il canale di interferenza in un canale broadcast V-MIMO con più alta capacità, essa occupa le risorse che potrebbero essere utilizzate per inviare dati aggiornati (non condivisi).

La corrispondente regione del tasso è espressa in termini di vincoli del backhaul e di *Vettori di Beamforming* utilizzati per trasportare i segnali differenti: Questi parametri vengono utilizzati per trovare i confini della suddetta regione per risolvere un insieme di problemi di ottimizzazione convessa.

Nel fare questo, risolveremo il problema dell'ottimo (*Beamforming*) per questo canale ibrido IC/MIMO broadcast.

Analizzeremo i tassi raggiunti nella suddivisione dei tassi così da schema per la rete V-MIMO e l'IC ed illustreremo i guadagni relativi per moderare la condivisione dei livelli in alcune situazioni realistiche.

Un altro approccio è quello di assumere che le BSs non siano a conoscenza della codifica e si utilizzi il backhaul per inoltrare i simboli quantizzati e codificati per trasmettere in etere.

Abbiamo adattato questo metodo per la nostra organizzazione e per valutare i risultati al nostro schema per quanto riguarda la condivisione dei tassi.

Dai risultati delle simulazioni  $C_1=C_2$  e il valore comune è denominato  $C$ . Ugualmente,  $P_1=P_2$  e il valore comune è denominato  $P$ . Poiché la regione dei tassi viene stabilito per un dato istante di canale, illustreremo i guadagni, che derivano dai messaggi condivisi su di un esempio di canale, generati da alcuni coefficienti arbitrari non ancora fissati.

Subito dopo vedremo i risultati che mostreranno i risultati del metodo di Monte Carlo ottenuti attraverso i canali in fading.

Fig.6.a e Fig. 6.b mostrano che il seguente canale con differenti valori dei vincoli del Backhaul, per un SNR ( $P/\sigma^2$ ) di 10 dB raggiungono dei tassi seguendo i determinati schemi



$$\begin{aligned}
H_{11}^T &= [0.2939 - 1.1488i - 1.5260 - 0.3861i], \\
H_{12}^T &= [0.3963 - 0.2679i 0.8306 + 0.6110i], \\
H_{21}^T &= [-0.7201 - 0.3025i - 0.9658 - 0.1754i] \\
H_{22}^T &= [0.1952 - 0.0026i 1.7096 + 0.4040i],
\end{aligned}$$

- Etichetteremo FRS (*Full Rate Splitting*) lo schema proposto di suddivisione del tasso;
- Etichetteremo come suddivisione del tasso asimmetrico (ARS) Lo schema del tasso di suddivisione studiato precedentemente dove i tassi privati sono originati solamente da una delle due BSs ( $r_{ij,p}=0$ , per  $i$  diverso da  $j$ );
- Etichetteremo NM Beamforming sull'interferenza del canale ( $r_{i,c}=r_i, 1,2$ );
- Etichetteremo QNM, la rete di backhaul quantizzata a schema V-MIMO

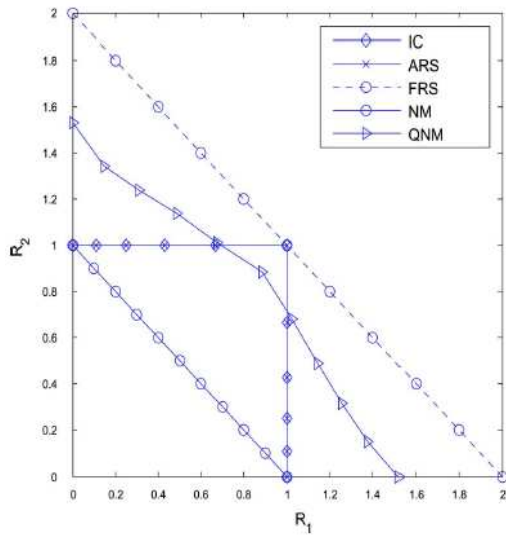


Fig.6.a Regione dei tassi campionati con SNR=10dB  
C=5 bits/s/Hz [6]

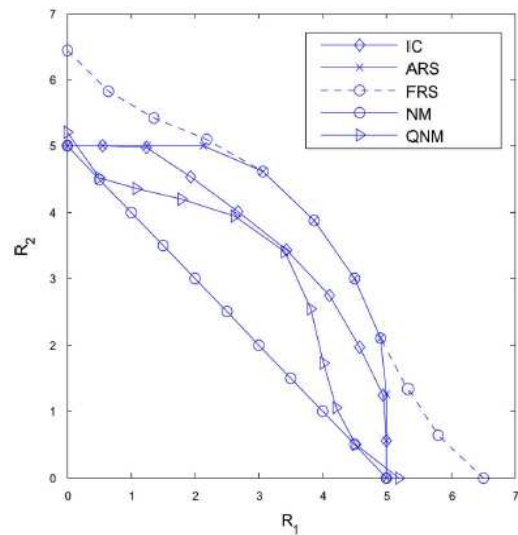


Fig.6.b Regione dei tassi campionati con SNR=10dB  
C=1 bits/s/Hz [6]

Come si può vedere, dipendendo da  $C$ , lo schema FRS potrebbe raggiungere una somma totale complessiva dei tassi fino ad arrivare a  $2C$ , che è il massimo possibile: questo è il caso della Fig. 6.a per esempio. Possiamo inoltre notare che se  $C$  è relativamente basso sarebbe meglio rinunciare ad un approccio con rete V-MIMO, specialmente se il backhaul è utilizzato per inoltrare gli stessi messaggi. Non appena la capacità del backhaul aumenta, l'approccio NM diventa interessante mentre quando  $C$  aumenta fino al punto dove entrambi raggiungono la stessa regione dei tassi allora i due metodi FRS e ARS superano il metodo NM in termini di prestazioni. Quando questo accade, il sistema non è più limitato dal backhaul ma diventa limitato dal raggiungimento della regione dei tassi in etere.

Bisogna notare che le simulazioni che non sono state presentate qua hanno mostrato che QNM potrebbe fornire leggermente risultati migliori su una porzione della regione dei tassi. L'applicabilità di ciascuno schema sicuramente potrebbe essere limitata dall'infrastruttura di rete stessa cioè dove la rete è gestita in maniera "intelligente". Inoltre i valori della regione dei tassi raggiunti dagli shemi FRS e ARS non sono sempre così netti e possono essere anche non convessi, così come la regione del QNM non è convessa a causa del tempo condiviso tra le differenti strategie di trasmissione.

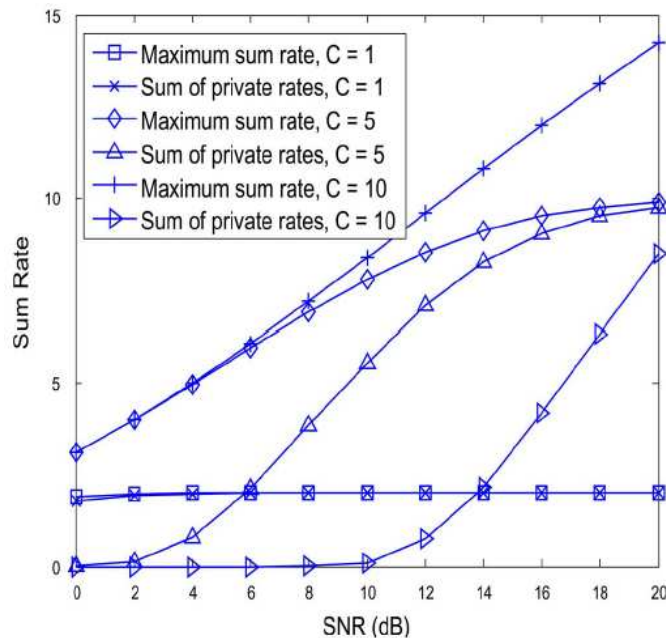


Fig. 7 Media della somma dei tassi in rapporto all'SNR per  $C=1,5$  e  $10$ bits/sec/Hz, e canali simmetrici con varianza cross canale pari a  $0.1$ . La figura mostra anche quanto i tassi sono nella forma di messaggi privati [6]

La Fig. 7 mostra la massima somma dei tassi raggiunti dallo schema FRS mediato su 100 canali campione, per  $N_t=2$  e per differenti valori del backhaul. I canali sono assunti essere simmetrici cioè:

$$h_{ii} \sim \text{CN}(0, I), i=1,2$$

$$h_{ik} \sim \text{CN}(0, \varepsilon I), i=1,2 \quad k=\text{mod}(i,2)+1$$

Dove il parametro  $\varepsilon$  accentua la capacità dei collegamenti incrociati (in un IC, questa sarebbe la capacità del collegamento di intereferente).

Per bassi valori di  $C$ , la somma massima dei tassi, cioè  $2C$ , è raggiungibile per valori molto bassi di SNR. Poiché  $C$  aumenta, la saturazione della somma dei tassi a  $2C$  si verifica per valori più elevati di SNR. Come viene anche mostrato nelle figure precedenti quando vi è l'arrivo dei dati totali giunti da messaggi privati.

Il metodo non cerca di massimizzare la capacità relativa al totale dei messaggi privati, ma semplicemente cerca di controllare i valori estremi della regione dei tassi definiti dai vincoli del backhaul per concretizzare il sistema in etere. Comunque, quando  $C$  sarà abbastanza basso, la maggior parte dei dati sarà nella forma di messaggi privati, mentre per valori di  $C$  elevati, si effettueranno messaggi privati solamente per valori più elevati dipendenti dal solo SNR.

Così per  $C=10$ , e per un SNR più basso di 10 dB, la somma dei tassi può sempre essere massimizzata da una approccio di rete V-MIMO.

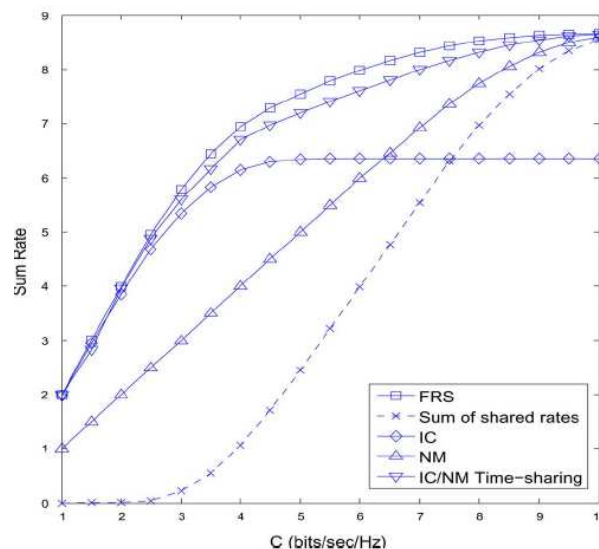


Fig. 8 Massima media della somma dei tassi o FRS, IC, NM e una condivisione dei tempi tra gli schemi IC e NC rispetto a  $C$  per  $\text{SNR}=10$  dB e canali simmetrici con cross-varianza pari a 0.5. La figura mostra anche quanti tassi sono nella forma di messaggi condivisi nello schema FRS [6]

La Fig. 8 mostra la massima somma dei tassi in riferimento a C per valori di SNR. Pari a 10 dB. Come notato precedentemente, per bassi valori di C, il sistema proposto e le prestazioni di IC sono commensurabili, confermate anche da bassi valori dei tassi condivisi, mentre all'aumentare di C, i tassi condivisi di crescita aumentano ed alla fine NMe il nostro sistema hanno prestazioni simili.

Un altro metodo per colmare le prestazioni tra IC e NM, considerando un backhaul limitato, è quello del *time-sharing* tra il sistema *non-cooperativo* (IC) e quello *totalmente cooperativo* (NM).

Per ottenere migliori prestazioni in questo caso, si ha la necessità di consentire ulteriormente la possibilità di trasmettere altri Bursts. Le BSs si alternano tra di loro ed ognuna di esse serve un proprio utente, stando in silenzio quando le altre lavorano.

Questo burstiness talvolta potrebbe non essere gradito. Le prestazioni di questo sistema vengono anche illustrati nella Fig 8.

#### **1.4 Diversità Spazio-temporale**

Gli STBCs distribuiti sono capaci di sfruttare effettivamente la diversità spaziale presente in una rete formata da trasmettitori multipli. Con un codice distribuito spazio-tempo, ogni ripetitore trasmette una particolare colonna di una parola di codice spazio-tempo. La strategia è appropriata quando ci sono più ripetitori rispetto a quando ci sono più colonne nelle parole di codice spazio-tempo, poiché solamente un sottoinsieme di ripetitori potrebbe partecipare nella trasmissione di una parola di codice distribuito spazio-tempo, solitamente quelli che ricevono la trasmissione dall'origine. Comunque, i protocolli DF richiedono un coordinamento tra i ripetitori per assicurare che ogni ripetitore trasmetta una specifica colonna della parola di codice spazio-tempo.

Protocolli AF sono ben adattati al caso poiché il loro numero di ripetitori è uguale al numero delle colonne nel codice spazio-tempo, ed inoltre con i protocolli AF ogni ripetitore partecipa nella trasmissione della parola di codice senza badare alla trasmissione del ripetitore d'origine.

In aggiunta alle sfide implementative che sono comuni ai convenzionali sistemi V-MIMO, la mancanza di sincronizzazione al ricevitore di destinazione impone aree di ricerca ulteriore verso sistemi che utilizzano codici Spazio-Tempo distribuiti. Il problema di sincronizzazione

può essere attenuato utilizzando il ritardo in diversità, STS, o codici Delay-Tolerant Space-Time.

#### **1.4.1 Sincronizzazione**

Nei sistemi di cooperazione definiti *Virtual MIMO*, le antenne vengono separate dai collegamenti wireless. Un buon approccio è quello di utilizzare semplicemente un hardware Ad Hoc e protocolli di più alto livello per assicurare che le trasmissioni da parte di ogni relativo partecipante siano sincronizzate. Talvolta questo meccanismo potrebbe non essere possibile in pratica e in ogni caso richiederebbe significativi overhead di segnalazione che potrebbero drammaticamente incrementare i requisiti di banda richiesti. Altri metodi sono quelli relativi a aggirare il problema della sincronizzazione includendo il *Delay Diversity*, la tolleranza del ritardo distribuito in modalità *Space-Time-Codes* (STC) e *Space-Time-Spreading* (STS).

Considereremo ognuno di questi metodi brevemente.

#### **1.4.2 Diversità di ritardo**

Le comunicazioni punto-punto sopra un canale con fading forniscono una diversità che può essere sfruttata da un ricevitore appropriato. In casi dove l'Interferenza Inter-Simbolo (ISI) è trascurabile, come è comune nei sistemi spread-spectrum, è sufficiente la ricezione RAKE. Quando l'ISI non può essere ignorato, la sequenza di rilevamento ML può essere effettuata tramite algoritmo di *Viterbi* per estrarre la piena diversità nel numero di cammini possibili. Matematicamente questo coinvolge la trasformazione della frequenza nel sistema SISO selettivo in un equivalente sistema flat-fading multiple-input single-output (MISO) che utilizza un particolare *Space-Time-Code* indotto dalla frequenza selettiva del canale.

E' possibile anche il caso contrario, cioè possiamo trasformare un sistema flat-fading MISO in un sistema virtuale SISO selettivo in frequenza utilizzando un metodo *Space-Time-Code* descritto dal seguente schema: nel primo time-slot, il simbolo  $x[1]$  è trasmesso sull'antenna 1 e tutte le altre antenne sono in silenzio. Nel secondo time-slot,  $x[1]$  è trasmesso dall'antenna 2 e  $x[2]$  è trasmesso dall'antenna 1 mentre tutte le altre antenne rimangono in silenzio.

Al time slot  $m$ ,  $x[m-l]$  viene trasmesso sull'antenna  $l+1$  per  $l=0,1,\dots,L-1$ . Questo schema di trasmissione ottiene un segnale ricevuto che è identico a quello ricevuto dal canale SISO selettivo in frequenza con  $L$  cammini.

Questo schema di codifica *space-time* particolare punto-punto è chiamato *Delay Diversity*.

Il metodo del Delay Diversity non può essere implementato nei sistemi di comunicazione cooperativi esattamente in questa maniera senza richiedere ciò che stiamo cercando di evitare, cioè la sincronizzazione per determinare quale ripetitore debba trasmettere quale simbolo e in quale ordine.

Fortunatamente, è chiaro come implementare il Delay Diversity in una maniera distribuita. Il metodo più semplice è quello di fare attendere ai ripetitori una quantità di tempo casuale prima che essi trasmettano il simbolo o il segnale che hanno precedentemente ricevuto. La destinazione riceverà un segnale che è equivalente a quello ricevuto con il canale multipath SISO, così verrà raggiunta la piena diversità (con probabilità 1), assumendo il rilevamento ML alla destinazione. Possono anche essere utilizzati Equalizzatori/Rilevatori lineari alla destinazione come il *Minimum Mean-Squared Error* (MMSE), o l'equalizzazione a decorrelazione, con perdita di diversità. Stranamente il rilevatore MMSE in congiunzione con una cancellazione di interferenza seriale (implementazione a decisione a feedback) raggiunge la piena diversità con una complessità più bassa rispetto al rilevatore ML quando il numero di ripetitori è grande.

### 1.4.3 Tolleranza al ritardo e codici Spazio-Tempo

Un altro metodo è quello della *Codifica Space-Time* distribuito senza sincronizzazione che coinvolge l'utilizzo della così detta *delay-tolerant*, codici *spazio-tempo* distribuiti le cui prestazioni non sono soggette ai ritardi tra i segnali ricevuti da ogni ripetitore. L'ordine di diversità di un *STBC* è uguale al minimo rango della matrice differenza sopra a tutte le coppie dei codici matriciali. Un codice Spazio-Tempo viene denominato  $\tau$ -delay tolerant se per tutti i codici di matrici  $S_k$  e  $S_l$ , la differenza matriciale  $S_k - S_l$  conserva il rango pieno anche se le colonne dei codici matriciali sono trasmessi o ricevuti con ritardi arbitrari della durata almeno di  $\tau$  symbols.

Poniamo  $S$  essere un parola di codice matriciale che proviene da un STBC sincronizzato, lasciamo che  $\Delta S$  sia una parola di codice (matriciale) ricevuta dalla destinazione dovuta a ritardi di trasmissione o di propagazione. Allora  $\Delta S$  può essere scritto come

$$\Delta S = \begin{pmatrix} 0^{\Delta 1} & 0^{\Delta 2} & \dots & 0^{\Delta R} \\ C_{1S}^{(1)} & C_{2S}^{(2)} & \dots & C_{RS}^{(R)} \\ 0^{\tau-\Delta 1} & 0^{\tau-\Delta 2} & \dots & 0^{\tau-\Delta R} \end{pmatrix}$$

La collezione di tutte le parole di codice  $\Delta S$  costituisce un codice  $\tau$ -delay-tolerant Space-Time se per tutti i profili di ritardo  $\{\Delta_k\}_{k=1}^R$  così che  $\Delta_k \leq \tau$  per tutti i  $k$ , esso raggiunge la stessa diversità come codice sincronizzato.

Il lavoro sui codici del Delay-Tolerant sotto questa struttura include [3, 5, 13, 16].

Sebbene il ritardo di diversità estrae la piena diversità nel numero di trasmettitori, i codici Delay-tolerant e Space-time promettono migliore guadagno di codifica e in alcuni casi più bassa complessità di decodifica.

#### 1.4.4 Spreading Tempo-Spazio (STS)

Il successo del Delay diversity nel raggiungere la piena diversità è dovuto in parte ai ritardi distinti per i segnali ricevuti da ogni trasmettitore, fornendo una firma univoca che permette al ricevitore di separare ogni risolvibile cammino prima di trasmettere il segnale e combinarlo.

Tale firma univoca può essere implementata con codifica STS.

Una delle più semplici strategie STS è assegnare alla fonte e ad ogni trasmettitore un unico codice di spreading, come nelle comunicazioni in *Code-Division Multiple Access* (CDMA).

Quando i ripetitori non sono sincronizzati, il segnale ricevuto alla destinazione è simile a quello ottenuto in sistemi (non-cooperativi) asincroni CDMA uplink.

In questa maniera le trasmissioni dall'origine e quelle da ogni ripetitore possono essere separate utilizzando la ben conosciuta strategia di elaborazione dei segnali sul rilevamento multiutente (*MUD*, Multi-user Detection) a trasmissione comune, ricombinata per estrarre la piena diversità senza la sincronizzazione a livello di simbolo.

Si può notare che, sebbene il CDMA è in formato di segnale Spread-Spectrum, non deve operare in una modalità inefficiente a livello spettrale. Infatti si dimostra che l'informazione della probabilità di fuori servizio di un sistema asincrono cooperativo CDMA uplink, sotto

decorrelazione MUD, viene minimizzata quando il sistema è leggermente più grande rispetto al guadagno di processo.

Questo non ci sorprende poiché un sistema CDMA sta lavorando ad alta efficienza spettrale in modalità sovraccaricata.

Esiste anche una strategia più sofisticata che non richiede una sincronizzazione tra i ripetitori, la stima del canale o il processo del segnale complesso multiutente alla destinazione o ai ripetitori.

La necessità dell'informazione di canale è evitata dall'utilizzo di simboli pre-codificati da una sorgente, durante la prima fase di trasmissione. Durante la seconda fase di trasmissione, ripetitori dedicati utilizzano la strategia STS AF che permette bassa complessità di decodifica e larga diversità di guadagno senza la stima del canale. Poiché l'alta complessità di strategie MUD non vengono utilizzate qua, e gli accessi multipli con interferenza residua (MAI) e ISI devono essere mitigati dall'utilizzo di codici di spreading specialmente fornendo un "*interferenza-a finestra libera*" (IFW), dove nei periodi morti i valori dell'autocorrelazione aperiodica e la cross correlazione diventano zero, risultati derivanti da zero MAI e ISI, forniti dal ritardo massimo asincrono ingrato al IFW. Il risultato del sistema estrae la piena diversità senza la conoscenza del canale o l'utilizzo complesso MUD alla destinazione o ai ripetitori.



## Capitolo II

### “Impatto delle reti di nuova generazione sul backhauling”

#### 2.1. Obiettivi

L'obiettivo di questo capitolo sarà quello di descrivere come il backhaul della rete radiomobile evolverà per supportare la messa in campo dei sistemi 4G LTE.

Le migliori soluzioni per il backhaul e per il progetto delle reti Mesh (P-OSB) mirano a definire i requisiti e di promuovere soluzioni innovative basate su protocollo IP per facilitare la migliore soluzione backhaul per la rete (incluso il self-backhauling).

#### 2.1.1 Struttura e Terminologia

Una rete di backhaul viene utilizzata come mezzo di trasporto per l'accesso della rete radiomobile (RAN) e permette la connessione alle stazioni base verso i loro relativi *controllers*.

Il termine *controller* viene utilizzato per rappresentare un completo EPC (*Evolved Packet Core*) includendo MME e S/P-GW nel caso di LTE o nel caso di tecnologie 3G come RNC di tecnologie radio oppure come BSC nel caso di tecnologie 2G.

In pratica, una tipica rete costruita per il Mobile backhaul consiste di 3 domini: *Centro della rete, Aggregazione, Accesso*.

I confini dei vari domini sono per lo più definiti dalla tecnologia e dalla topologia utilizzata all'interno del dominio e dalla messa in campo dei nodi radio.

La rete d'Accesso fornisce il collegamento verso le BTS ai siti delle celle ed è prevalentemente basata su topologie ad albero o a catena costruite con tecnologia radio a microonde, ma anche con una buona condivisione tra fibra ottica e rame.

Iniziando dalla rete di aggregazione possiamo vedere molto spesso topologie mesh oppure ad anello, prevalentemente in cima alla rete in fibra ottica. La rete di aggregazione termina normalmente quando si giunge al sito del controller, dove le RNC's e le BSCs vengono collocate.

I siti dei controller vengono connessi agli altri siti dei controller con il *packet core* oltre all'EPC (*Evolved Packet Core*) per mezzo della *Core Network* che è quasi in tutti i casi una rete instradata IP/MPLS.

La struttura è rappresentata nella seguente figura:

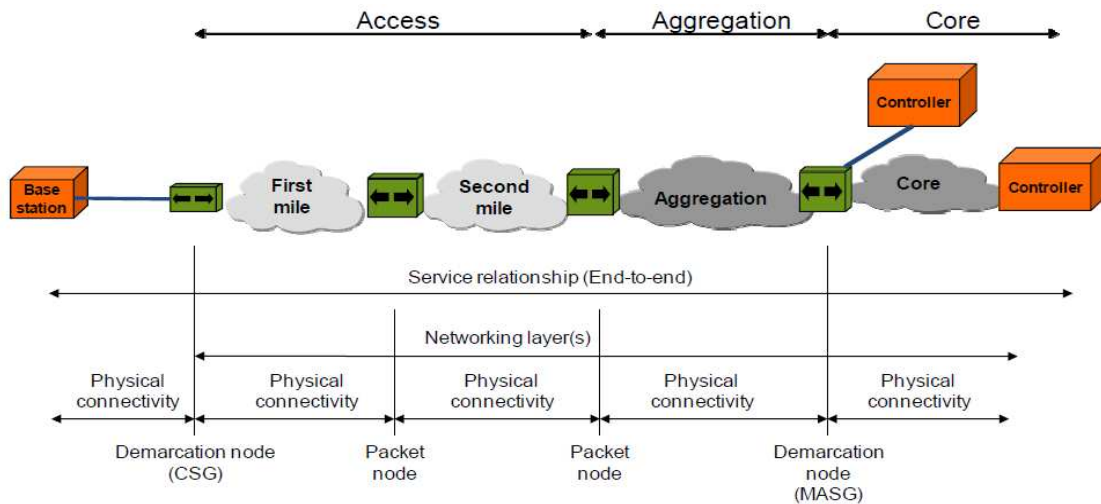


Fig.1 Struttura base della rete mobile backhaul [8]

Per quanto riguarda la topologia della rete di backhaul, lo studio sarà limitato solamente a 2 domini di rete: l'accesso e l'aggregazione.

La ragione per cui l'accesso può essere costituito da vari sotto-domini (primo miglio, secondo miglio etc) è dovuto alla considerazione di differenti tecnologie fisiche e topologie. Spostandoci da sinistra a destra, il primo miglio (*first hop*) connette un dispositivo di demarcazione, di solito messo in campo sul sito cella, verso una prima fase di gestione e concentrazione del traffico. Il secondo miglio aggrega invece uno alla volta il traffico e si adatta ad ogni cambiamento di tecnologia e fornisce i punti di hand-over verso una rete metro/aggregazione.

Esiste un altro strumento di demarcazione sul confine destro del dominio di aggregazione, che connette la rete di backhaul direttamente ad un controller RAN o verso la *Core Network*.

La lista dei nodi che fanno parte della rete di backhaul include:

- Una *cell Site Gateway* (CSG, anche riferita come *Cell Site Aggregation*, o *Demarcation device*) di solito messo in campo sul sito cella, che rappresenta il primo nodo di rete dove le architetture logiche da qua in poi verranno applicate.
- Alcuni nodi a pacchetto appartengono sia all'accesso che all'aggregazione
- Una *Mobile Aggregation Site Gateway* (MASG) che agisce come una copia del CSG

il termine di connettività fisica viene utilizzato per rappresentare qualsiasi tecnologia che può essere utilizzata per connettere i nodi come spiegato successivamente.

In cima al livello fisico, si può trovare il livello di rete. Su questo si concentrerà la nostra analisi;

Ancora una volta il termine è largamente diffuso per abbracciare tutte le possibili architetture logiche che devono governare il traffico LTE e le sue applicazioni.

Il livello più elevato è rappresentato dal servizio, dove viene applicato alle interfacce S1 e X2. Anche se non esplicitamente menzionato, il trasporto di S1 e X2 si affida allo strato IP che non fa parte della rete.

### **2.1.2 Requisiti dei sistemi HSPA+LTE/4G per il backhaul**

I requisiti tecnici della rete di backhaul non provengono né dalle specifiche del 3GPP, ente principale per l'HSPA e LTE, né dalle specifiche (IETF, Metro Ethernet forum, DSL Forum, ITU).

Ad alti livelli, i requisiti base della rete di backhaul sono quelli di supportare LTE, HSPA+ ed in generale il trasporto 4G, ma per questi si effettueranno un'analisi per punti, che non saranno necessariamente sempre supportati dalle reti correnti:

- ❖ La rete di backhaul è basata su pacchetti
- ❖ Fornisce alta banda
- ❖ I nodi di rete sono caratterizzati da interfacce ad alta capacità ed effettuano aggregazione del traffico conoscendo la QoS (*Quality of service*)
- ❖ La rete permette *Operation, Administration & Maintenance* End-to-End (OAM)
- ❖ Possibilmente ha un basso TCO (total cost of ownership) rispetto al tradizionale TDM o versioni ibride (reti TDM e Ethernet)
- ❖ Supporta i modelli di rete e trasporta i servizi come definiti da MEF, BBF, IETF o da altre organizzazioni

La prevalenza del traffico di backhaul LTE segue ancora la tradizionale architettura hub-and-spoke, cioè i eNBs inviano il traffico S1 verso la Core Network attraverso un *peer* comune.

LTE presenta una nuova interfaccia logica per la BTS verso la comunicazione BTS chiamata X2 che non esisteva precedentemente (poiché non vi era necessità) nei sistemi 2G e 3G. Il suo principale utilizzo è quello di supportare il processo di *handover* quando un terminale si sta spostando da una BTS ad un'altra.

La connessione logica per il traffico X2 può essere fornita a vari livelli nella rete di backhaul. A primo sguardo sembra ovvio che vi sarebbe un beneficio se l'X2 al momento cruciale fosse collocato vicino alle stazioni base, permetterebbe di trarre vantaggio dalla bassa latenza X2 ed eviterebbe che il traffico X2 caricasse parti più elevate della rete mobile di backhaul.

Ad ogni modo tenendo la latenza X2 notevolmente più bassa rispetto alle interruzioni del collegamento radio di 30.....50 ms durante la procedura di handover, questo non aggiungerebbe altri valori.

Come in una rete ben disegnata, il livello di trasporto S1 è comunque ottimizzato per basse latenze, per lo più non causa alcun danno nel fornire al collegamento X2 un punto elevato di connessione.

Inoltre la quantità di traffico X2 è marginale paragonata al traffico S1, di modo che il carico ulteriore sia trascurabile.

### **2.1.3 Evoluzione della rete di backhaul: principali difficoltà**

L'introduzione di LTE potrebbe destare alcune preoccupazioni agli operatori ancora occupati nella messa in campo dei suoi sistemi o nel massimizzare la redditività delle loro reti esistenti.

Per questa ragione, gli scenari descritti d'ora in poi sono stati disegnati considerando, tra gli altri aspetti, lo spostamento da una rete più tradizionale (come la rete basata su circuiti) a quella a pacchetto che rappresenta un obiettivo da raggiungere a pieno.

Chiaramente il cammino verso un backhaul basato su tecnologia a pacchetto, dipenderà dal mercato specifico, e dai service provider.

Senza voler entrare nello specifico, le reti di backhaul moderne supportano i servizi 2G e 3G e sono per la maggior parte basati su sistemi (tecnologie) ereditarie (TDM/ATM). In Generale, 2G Abis è trasportato su TDM, mentre 3G Iub transport fa affidamento su ATM sopra a TDM. Tecnologie fisiche potrebbero includere PDH e SDH.

Un primo approccio per affrontare lo spostamento verso un backhaul basato su pacchetti è la realizzazione di una rete dedicata per HSPA + LTE, purché mantenga la rete esistente per i servizi correnti. L'approccio delle reti parallele lascia ad un operatore la flessibilità di presentare gradualmente tecnologie basate sui pacchetti in certi segmenti di rete e di selezionare, quando necessario, il metodo preferito per gestire i sistemi ereditari.

Per esempio, i servizi dati 2G/3G possono essere trasportati nella loro forma nativa o possono essere scaricati dalla nuova rete Ethernet (come per HSDPA).

Nello scegliere questo approccio, gli scenari basati su Ethernet probabilmente semplificheranno l'interconnessione tra i domini di rete esistenti e supportano la tipica topologia hub & spoke tra i controllers RAN o i componenti EPC e le stazioni base. La prossima figura rappresenta schematicamente quanto definito precedentemente.

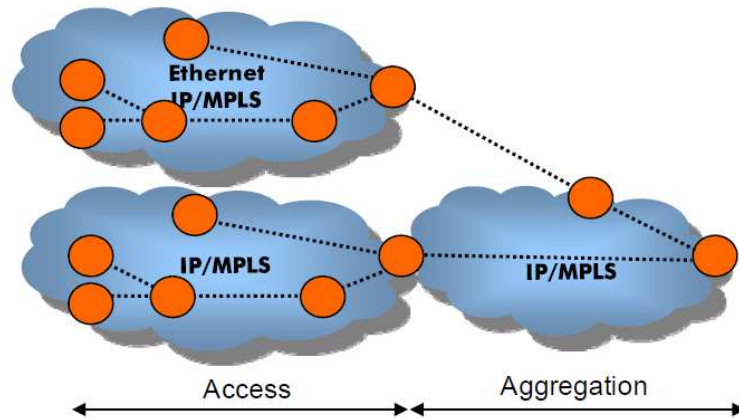


Fig. 2 Rappresentazione dell'alto livello di una rete basata su commutazione a pacchetto [8]

Un approccio differente potrebbe essere quello di considerare l'adozione di Ethernet come tecnologia di backhaul comune, dalla cella verso l'aggregazione, utilizzata attraverso solo una rete. Il principale impatto è l'aggiornamento su Ethernet di ogni stazione base ed elemento di rete, anche se Ethernet e il livello di trasporto ereditato possono coesistere nel dominio d'accesso (approccio ibrido). I servizi ereditari sono mappati nel livello Ethernet utilizzando tecniche di emulazione di circuito o pseudowires e vengono incapsulati nelle VLANs. La topologia tipica è ancora Hub & Spoke, come possiamo vedere nella figura successiva:

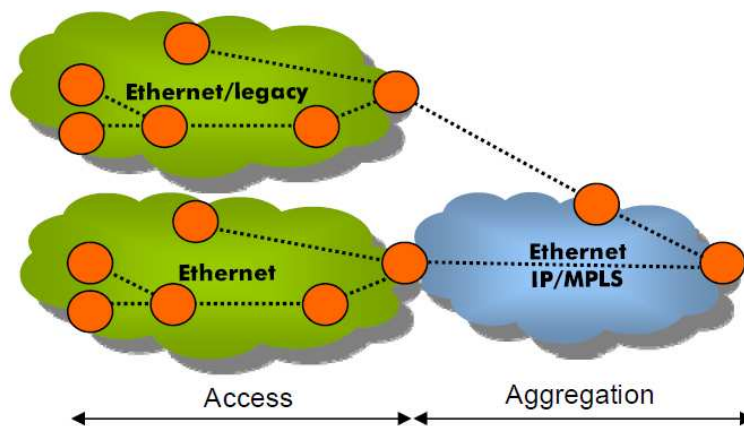


Fig. 3 Rappresentazione dell'alto livello basata su di rete a circuito misto e pacchetto [8]

Un altro approccio prevede la messa in campo di un MPLS-based VPN spanning dai siti cella verso i controller RAN o i componenti EPC, sia al livello 2 che a livello 3. Ethernet potrebbe rimanere la tecnologia di trasporto sul sottostrato ma esistono altre soluzioni possibili (come SDH, WDM per le aggregazioni, GPON, fibra scura, microonde per l'accesso).

Il dispositivo del Gateway sito cella è distribuito sui siti cella ed i servizi sono incapsulati come pseudowires o emulazioni di circuito. Le topologie supportate includono hub & spoke, mesh e ring.

La complessiva architettura viene rappresentata nella prossima figura:

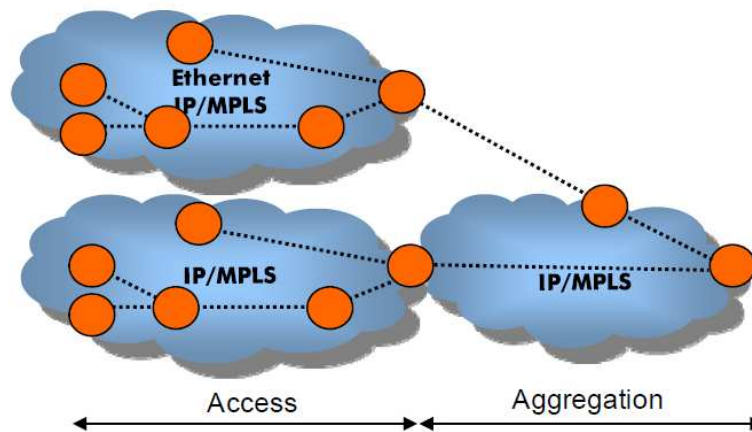


Fig. 4 Rappresentazione di alto livello basata su una rete a commutazione a pacchetto [8]

Come descritto precedentemente gli approcci possono essere visti come differenti alternative o passi differenti nel cambiamento verso il backhauling basato su pacchetti. Nello specifico l'ultimo è spesso visto come l'ultimo ad arrivare sul mercato ed essere adottato dai Carriers.

#### 2.1.4 Panorama dell'architettura fisica e logica

Il backhauling è stato studiato dal punto di vista fisico. Le principali tecnologie incluse nell'analisi vengono elencate qua come riferimento:

- Microonde punto-punto
- Microonde punto-multipunto
- DSL
- GPON
- Linea Ethernet affittata
- Fibra punto-punto
- Ring o mesh-Ethernet, NG-SDH,(D)WDM

Poiché dipendono dalle tecnologie fisiche i Service Providers hanno provato a combinare svariate tecnologie ma solamente poche topologie di rete sono possibili per la rete di backhaul.

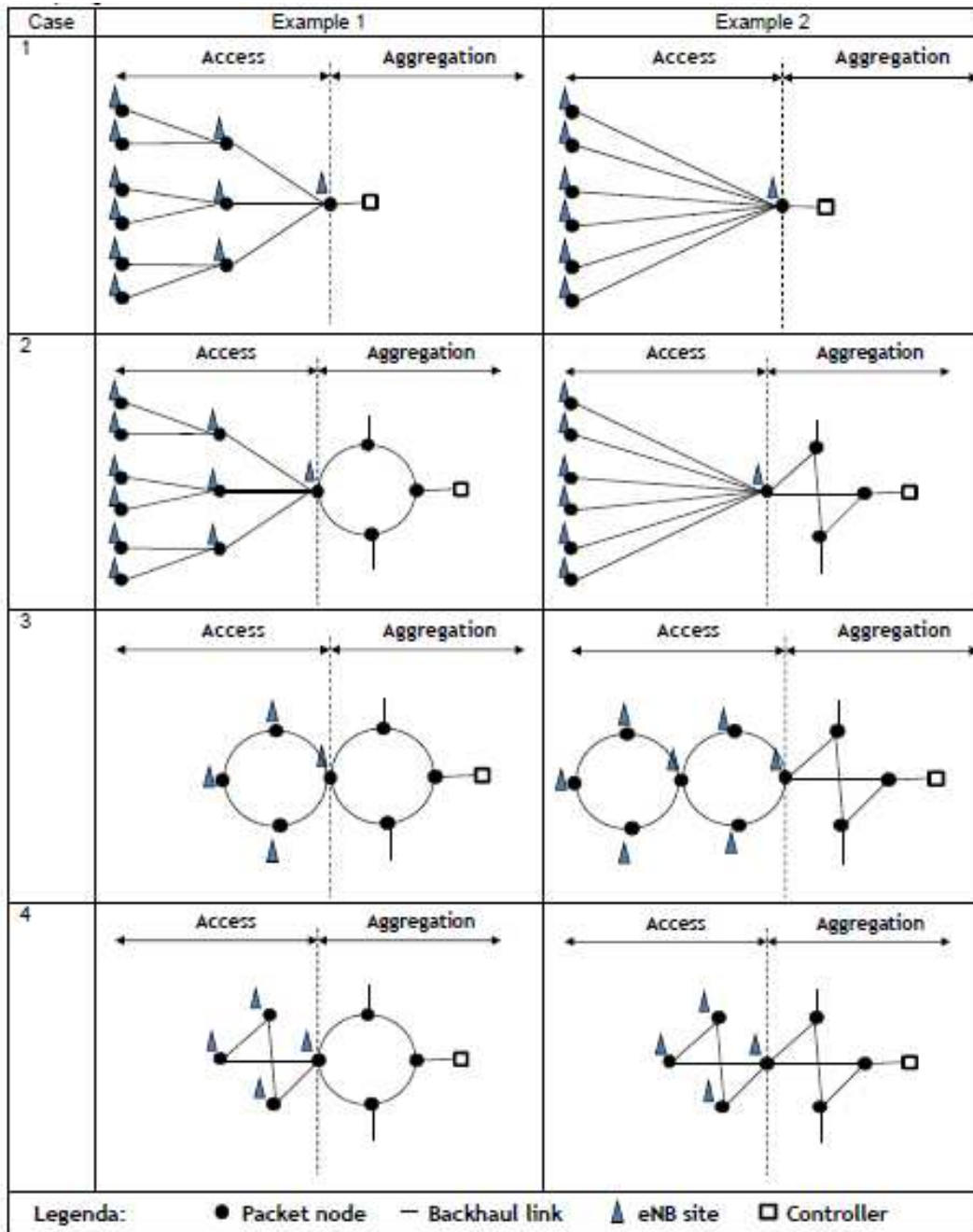
Questa analisi ha focalizzato l'attenzione sui seguenti casi, considerati come combinazioni generali d'accesso e delle topologie di aggregazione:

TAB A: TOPOLOGIE D' ACCESSO ED AGGREGAZIONE [8]

CASO	ACCESSO	AGGREGAZIONE	ESEMPI
1	Albero	Nessuna aggregazione	Rete basata su connessioni in fibra microonde Punto-Punto o Punto-Multi-punto raggruppate da nodi a pacchetto di fronte ai controllori RAN
2	Albero	Mesh/Ring	Rete basata su connessioni Punto-Punto o Punto-Multi-punto in fibra o in microonde con aggregazione grazie alla Metro-Ethernet o alla rete SDH
3	Anello	Mesh/Anello	Rete basata su accesso ad anello in fibra o a microonde con Metro-Ethernet o aggregazione SDH
4	Mesh	Mesh/Anello	Rete Mesh Basata su fibra o microonde all'accesso, con Metro-Ethernet o aggregazione SDH

La tavola successiva fornisce alcuni esempi delle topologie per visualizzare come è formata una rete di backhaul:

TAB B: GEOMETRIA DELLE RETI DI BACKHAUL [8]



La tavola da un primo suggerimento sulle caratteristiche delle topologie. Queste caratteristiche saranno anche considerate più tardi per determinare quali architetture logiche possono essere applicate ad ogni singolo caso:

- Caso 1 è caratterizzato dalla connettività diretta con nessun cammino in diversità per la ridondanza.



La protezione tende ad essere al livello trasmissivo, ponendo requisiti meno stringenti sulle architetture logiche che devono essere adottate;

- Caso 2 limita la topologia descritta precedentemente per l'accesso, mentre l'anello o l'infrastruttura Mesh viene considerata nell'aggregazione, per una più densa governabilità del traffico. La stessa considerazione fatta per il caso 1 applicata all'accesso, mentre la presenza di un anello o anche una rete mesh nell'aggregazione suggerisce di considerare architetture supportando il veloce rilevamento e tempo di reazione;
- Caso 3 e il Caso 4 incrementano ulteriormente la complessità delle reti di backhaul: la differenza tra i due è che il dominio di accesso viene formato (ad anello per il caso 3 e mesh per il caso 4, dove un anello viene visto come una rete Mesh collassata). A causa della preferenza dei Service Providers, molte architetture sono possibili, basate principalmente su MPLS.

### **2.1.5 Lo scenario ad anello**

Vedremo un po' più in dettaglio il secondo scenario poiché considera due approcci differenti per quanto riguarda l'accesso e l'aggregazione, mentre l'Anello o il Mesh viene introdotto nell'aggregazione.

Mentre per l'accesso le stesse ragioni di avere un backhaul Ethernet, come nello scenario 1, sono ancora valide.

La successiva figura mostra il livello alto dell'architettura:

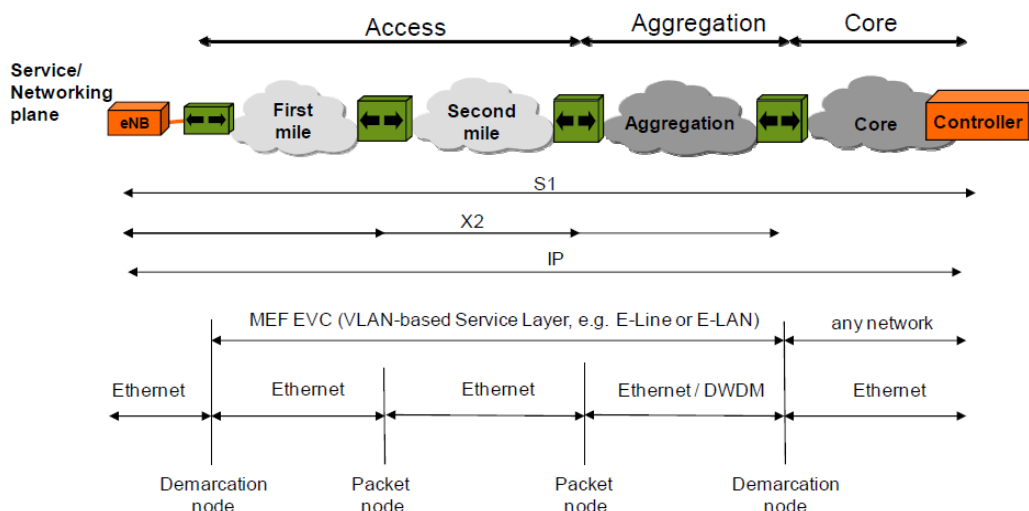


Fig.5 Scenario di backhaul basato su portante Ethernet con L2/L3 VPNs [8]

Specialmente nell'aggregazione, le tecnologie come DWDM possono spesso essere trovati assieme o in alternativa ad Ethernet. In Cima, un livello IP/MPLS di trasporto viene utilizzato per trasportare LSPs e pseudowires, realizzando una rete VPN L2 o L3.

Dato che l'accesso è ancora basato su Ethernet, come per lo scenario 1, esiste un nodo al bordo tra l'accesso e l'aggregazione che ha il compito di adattare le tecnologie di rete e le architetture funzionali.

Come alternativa, MPLS-TP potrebbe anche essere implementato come rete VPN punto-punto L2 (VPWS).

### 2.1.6 Applicazione dello scenario ad anello

Il caso 2 è un tipico esempio per avere un architettura logica divisa tra l'accesso e l'aggregazione.

L'accesso può adottare qualsiasi tecnologia fisica e contare sui suoi metodi di protezione (physical redundancy). Per l'aggregazione, il piano di controllo MPLS gestisce tutti i meccanismi di protezione necessari.

End-to-End OAM può essere ottenuto al livello pseudowire grazie all'interworking con Ethernet OAM.

Di seguito vengono mostrati due esempi:

Nella prima viene considerata un L2 VPN

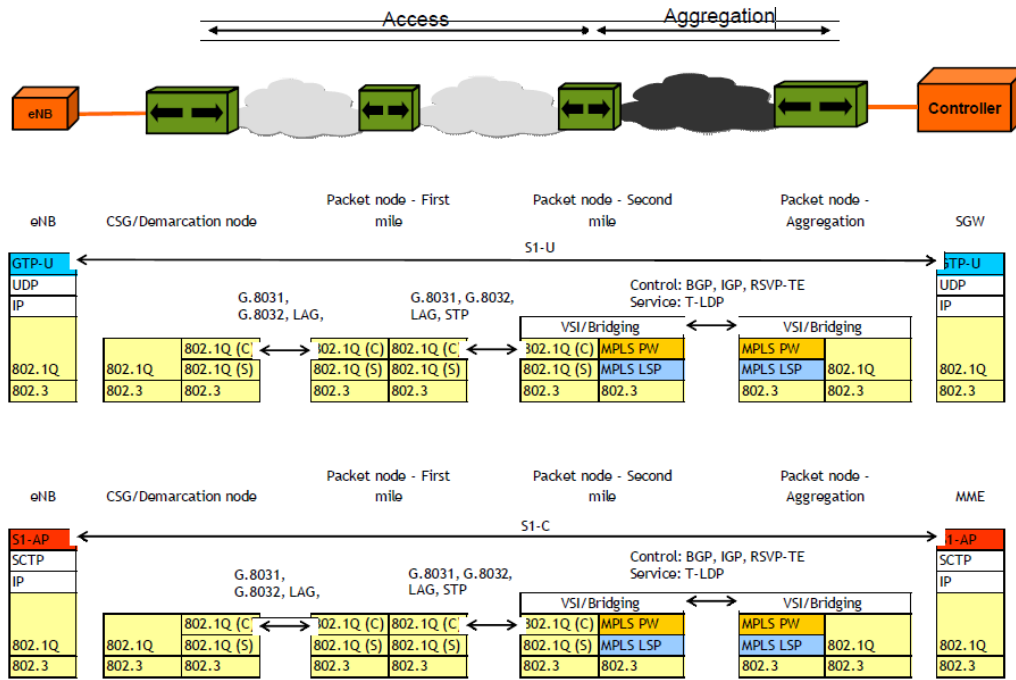


Fig.7 Esempio degli stack protocollari per portante Ethernet con L2VPN backhaul [8]

Mentre nella seconda si mostra lo stesso scenario dove viene utilizzato L3 VPN nell'aggregazione:

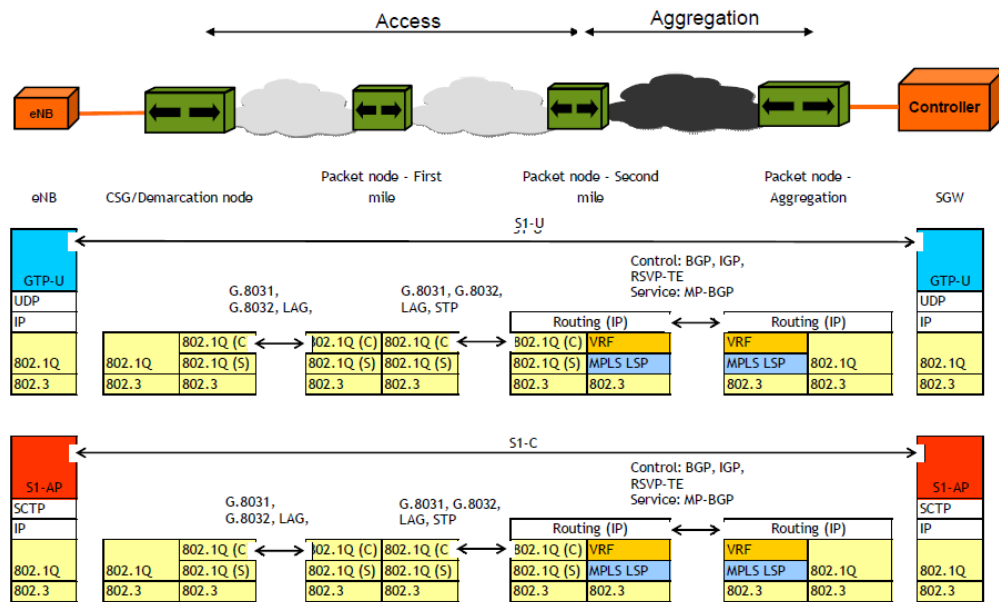


Fig.8 Esempio dello stack protocollare per portante Ethernet con L3 VPN backhaul [8]

## 2.2 Evoluzione dei sistemi di accesso radio

La crescita di domanda di banda, promossa dalla disponibilità sia dei dispositivi “intelligenti” che dai servizi broadband, sfida le odierne reti di backhaul. Gli operatori devono implementare piattaforme radio multi tecnologia (2G 3G 4G), possibilmente fornite da differenti venditori, in modo tale da ottimizzare la rete CAPEX/OPEX.

Di conseguenza, le reti di backhaul stanno evolvendo verso soluzioni capaci da una parte di raccogliere un alto throughput dalle macro celle (ordini dei Gb/s), mentre dall'altra parte di incrementare selettivamente la tecnologia nella copertura all'interno di aree urbane dense per mezzo di piccole celle.

Un modello nuovo di backhaul basato sul processo di centralizzazione della banda base attraverso il CPRI (*Common Public Radio Interface*) appare come complementare al convenzionale processo di banda base distribuito (IP-backhaul).

In questo contesto un mix intelligente di tecnologie ottiche in combinazione con aggregati elettronici, può ottimizzare la complessiva soluzione del backhaul permettendo la messa in campo di dispositivi ottici nelle macro e piccole celle, dove vi è il risparmio del TCO (*Total cost of ownership*) verso l'operatore e allo stesso tempo il supporto della qualità sperimentata dall'utente finale.

CPRI si concentra sul design della *base station* che divide *base station* in una parte di controllo ed una parte radio, specificando una nuova interfaccia come unico punto di interconnessione radio tra le base stations. Ciò consentirà a ciascuna parte della base station di beneficiare meglio dell'evoluzione tecnologica nel suo rispettivo ambito.

La specifica CPRI è disponibile a favore del settore wireless. I principali vantaggi per gli operatori di rete sono la disponibilità di una più ampia gamma di *base station radio* con adattabilità a tutti gli scenari di distribuzione con un tempo più breve per il mercato di riferimento. La specifica CPRI consente ai produttori di *base stations* e fornitori di componenti di concentrare i loro sforzi nella ricerca e sviluppo in riferimento alle loro competenze principali. La specifica CPRI permette nuove architetture e non è limitata dalla dimensione dei moduli o da una funzione di divisione predefinita.

L'iniziativa CPRI integra le attività in corso in organismi di normalizzazione esistenti.

L'interfaccia sviluppata sarà utilizzata per *base stations* prodotte in sistemi radiomobili.

### 2.2.1 Lo sviluppo delle reti mobili

L'unione della domanda dell'utente finale e la proliferazione dei dispositivi mobili con mezzi a capacità avanzata stanno sfidando i costi e le prestazioni delle reti mobili esistenti e le loro architetture.

Il forte ambiente competitivo impone agli operatori mobili di trovare soluzioni attentamente capaci di ridurre i costi nella costruzione, operatività e aggiornamento delle reti, fornendo in maniera affidabile ai clienti soluzioni e servizi a banda larga.

La disponibilità di dispositivi a largo schermo, così come i Tablet e gli Smart Phones con servizi multimediali avanzati ha portato un'altra dimensione alla previsione del traffico per il futuro come viene mostrato nella figura 9:

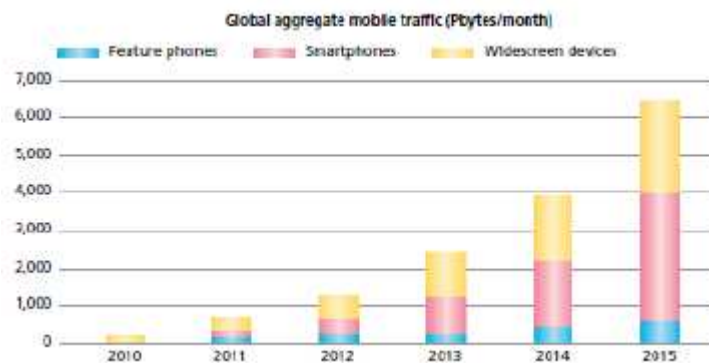


Fig.9 La proiezione del traffico crescente nelle reti radiomobili [9]

Da una parte gli sviluppatori si concentreranno in maniera più massiccia sulla produzione di nuove applicazioni che esibiranno le capacità dei dispositivi, migliorando la qualità testata dall'utente finale e guidando nuovi livelli e schemi di utilizzo. Dall'altra parte, adattandosi alla domanda di traffico esponenziale implica che gli operatori mobili devono aggiornare la loro rete per permettere l'evoluzione delle nuove tecnologie mobili (per esempio dal GSM al W-CDMA fino ad arrivare a LTE) e poiché aumenta la capacità bisogna modificare l'apparato di rete cambiando le antenne e i sistemi principali.

La rete di backhaul deve gestire in maniera "agnostica" le piattaforme multiple di venditori sulle quali gli operatori potrebbero contare, minimizzando i relativi aggiornamenti dei costi e le dipendenze dai servizi delle portanti e gli Assets radio.

Fattori base come la copertura, la capacità e l'efficienza spettrale influenzano le soluzioni di rete del backhaul.

La copertura e la capacità vengono guidate soprattutto dalla densità della cella e dalla banda di frequenza della trasmissione, mentre le configurazioni d'antenna e la tecnologia wireless giocano un ruolo importante nella trasmissione.

La crescita esponenziale dei tassi scelti per l'internet mobile broadband presenta un'opportunità unica per lo sviluppo e l'evoluzione dell'architettura di rete permettendo nuove applicazioni e servizi.

### **2.2.2 Macro e piccole celle e l'incremento della densità**

La necessità di ulteriore capacità può essere soddisfatta con differenti approcci, poiché dipendono dalla collocazione geografica e dai particolari sulla messa in campo della tecnologia mobile.

Tipicamente le "macro" celle comprendono antenne che gestiscono una singola banda di frequenze con un processo che copre a 360° l'area con pochi km di raggio.

La crescita della capacità potrebbe richiedere nuove portanti (W-CDMA o LTE), supportate da equipaggiamenti aggiuntivi.

Al contrario invece, l'incremento della densità dei siti cella aumenta l'effettiva capacità di servizio utilizzando risorse spettrali esistenti.

Gli approcci sopra descritti, chiaramente portano preoccupazioni di scalabilità ed hanno implicazioni di costo;

Allo stesso tempo, trovare nuovi siti, in aree urbane dense, può essere difficile.

Sempre di più, la posizione dell'apparato radio e dell'antenna non fornisce spazio per tutte le frequenze.

Questa è la chiave per cui la messa in campo di celle più piccole, talvolta chiamate "*micro-celle*" o "pico-celle", dove specifiche portanti, assieme alla tecnologia necessaria, alla banda e alla potenza, potrebbero essere selettivamente messe in campo per settore, come "hot-spots" con centinaia di metri di raggio. Poveri requisiti in termini di potenza trasmessa, numero di settori, che vengono serviti (tipicamente 1) e il fatto che solo una tecnologia alla volta è messa in campo, permette in questo caso la piena integrazione e la sinergia degli apparati radio con la banda base.

### **2.2.3 Modelli di backhauling basati su protocolli IP e CPRI centralizzato**

Differenti modelli di backhauling possono essere analizzati, sulla base di processi di banda base come illustrato nella figura 10:

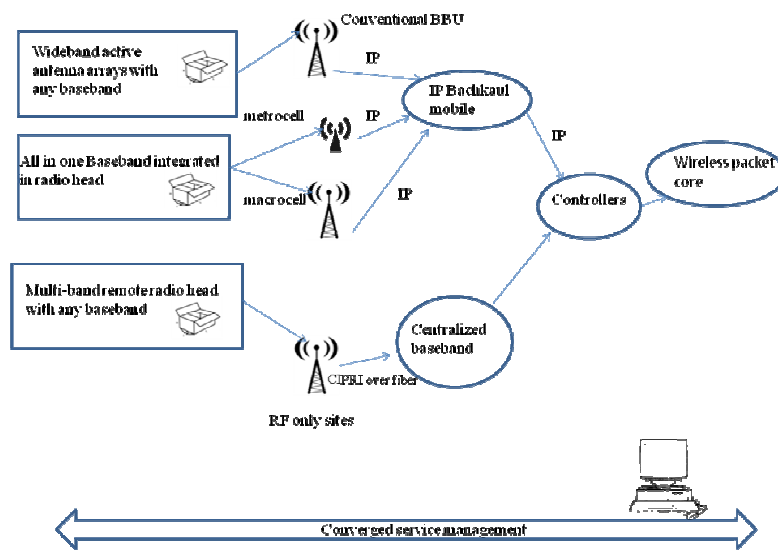


Fig 10 Vista semplificata dei modelli di backhaul mobili [9]

a) Segnali in banda base elaborati sul sito-cella dalla BBU (*BaseBand unit*), situata alla base della torre o integrata sulla cima dell'antenna radio (chiamata unità sinergica).

Questa opzione riferita come "*Conventional IP backhaul*", richiede che il backhaul sia asimmetrico, non subisca la latenza e gestisca flussi di traffico nativo IP a basso bit rate.

b) la BBUs collocata in posizione centrale (CO-central office), lasciando solo le parti a radiofrequenza (Remote Radio Unit RRU) verso i siti cella. Questa soluzione richiede che il backhaul campioni i segnali in QAM (Quadrature Amplitude Modulation), che sono simmetrici e sensibili alla latenza, relativamente ad alto bit-rate.

La tabella A mostra un esempio di consumo di banda per campioni di flussi IQ su portanti WCDMA a 5Mhz e 10 portanti a 30 Mhz LTE con configurazioni di antenne 4x2 MIMO (Multiple Input & Multiple Output), tutte con 3 settori. I campioni IQ sono, allora, divisi in segnali CPRI (*Common Public Radio Interface*). Di conseguenza, questo modello può essere denominato "CPRI backhauling".

Il trasporto IP backhaul può essere supportato su:

- Rame, come l'VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line) con modalità vettoriale e fantasma, che supporta anche la più larga configurazione della stazione base considerata.

TABELLA A Esempio dei requisiti di banda dai flussi dei campioni IQ [9]

5 MHz WCDMA carriers	LTE spectral bandwidth (MHz)			
	0	10	20	30
0	0	5530	11059	16589
1	462	5992	11521	17051
2	924	6454	11983	17513
3	1386	6916	12445	17975
4	1848	7378	12907	18437

- Microonde, con interfaccia aerea dal range spettrale da 6 GHz a 23GHz, con solo configurazioni che richiedono una seconda portante.
- Fibra, come ad esempio con capacità a 10 Gb/s per collegamento/lunghezza d'onda punto-punto o configurazione WDM PON (Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network) o con 10G TDM (Time Division Multiplexing) PON, comunemente messo in campo a livello d'accesso.

Requisiti Correnti per l'interfaccia CPRI, in termini di tasso di linea massimo (9,83 Gb/s) e ritardo di trasporto massimo (<200/300  $\mu$ s non includendo il ritardo di propagazione), impattano la selezione delle opzioni di trasporto in un modo tale che (vedi tabella B):

- Le microonde mostrano il vincolo di capacità
- Il Rame DSL e la fibra TDM PON mostrano in aggiunta un vincolo di ritardo: 3 ms introdotto di latenza dalla DSL; tipicamente 1 ms di latenza introdotta dalla TDM PON.

Così, tra le opzioni di solito messe in campo per backhauling IP, solamente i collegamenti in fibra punto-punto e WDM con lunghezze d'onda multiple sopra la fibra condivisa rappresentano opzioni funzionanti per il trasporto CPRI backhaul.



TABELLA B Opzioni dell'IP backhauling e metriche di prestazione [9]

MEAN	INFRASTRUCTURE AND TECHNOLOGY CAPABILITY		
	Option	Bandwidth (Mb/s)	Latency (ms)
COPPER	DSL - 2 pair bonding with vectoring and phantom mode 1500 m	100 down, 20 up	3
	DSL - 4 pair bonding with vectoring and phantom mode 1500 m	230 down, 40 up	3
	DSL - 8 pair bonding with vectoring and phantom mode 1500 m	750 down, 150 up	3
MICROWAVE	11-23 GHz (up to 16 Km at 11 GHz) 254 bits per frame	305 down, 306 up (per radio)	- 0.15 per hop
	80 GHZ (up to 1.5Km)	1000	- 0.15 per hop
FIBER	TDM PON	10000 down, 2500 up (shared among ONTs)	- 1
	B&W point to point	10000	0.005/Km
	CWDM	8x 10000 per channel	0.005/Km

### 2.2.4 Panorama evolutivo delle reti d'accesso

La continua crescita di richiesta di banda, ha imposto agli operatori mobili di doversi adeguare sia alle necessità dei dispositivi intelligenti dell'utente finale che alla possibilità di offrire servizi broadband, che ha condizionato l'evoluzione delle loro piattaforme radio.

Oltre al convenzionale processo di banda sul sito cella, un nuovo modello, basato sul processo remoto in banda base nella centrale (centralizzazione della BBU attraverso CPRI backhauling) sta attirando l'attenzione degli operatori e dei venditori sia per i benefici in termini di CAPEX, che vengono dalla possibilità di condividere gli istanti BBU tra i differenti siti cella (BBU polling ) e anche di più in termini di OPEX, poiché le sue spese vengono minimizzate grazie all'ottimizzazione dei costi di noleggio del sito, potenza, mantenimento e riparazione.

La futura rete di backhauling dovrà probabilmente coprire sia l'IP convenzionale di backhauling e il CPRI backhauling, accordando agli operatori gli aspetti specifici di rete come l'infrastruttura in fibra, e la super posizione di differenti generazioni di tecnologie mobili e l'impatto delle spese OPEX.

Il throughput ad alta banda e la bassa latenza richiesta dal trasporto CPRI rendono trasparente le tecnologie di trasmissione basate su WDM e/o TDM come candidati favoriti

per la rete di backhauling. Lo stesso mix di tecnologia sembra una scelta ideale per le piccole celle di backhauling attraverso IP/Ethernet e le macro celle attraverso CPRI con un unico dispositivo aggregatore posizionato nel hub delle macrocelle.

### **2.2.5 Uno sguardo più ravvicinato al CPRI backhauling**

Il CPRI [2], è un segnale con bit rate costante che viene strutturato come moltiplicazione gerarchica di flussi digitali generati dal campionamento, quantizzazione e codifica binaria di segnali radio analogici. Viene definito con tassi di velocità differenti, il cui range varia da 614.4 Mb/s a 9.83 Gb/s e può essere considerato rispetto ad una tecnologia radio indipendente diversa.

CPRI backhauling permette di ottimizzare il CAPEX in aggiunta a OPEX della rete.

I vantaggi in termini di CAPEX includono:

- Migliore utilizzo della potenza di processo BBU dovuta alla “virtualizzazione” (simile al cloud networking), che permette di condividere una richiesta BBU tra siti cella differenti (i così detti gruppi di BBU);
- La possibilità di utilizzare strategie Cooperative MultiPoint (CoMP), dove i segnali ricevuti da molte RRUs sono contemporaneamente elaborati dal gruppo BBU e dalla cancellazione di interferenza intercella (ICIC), così da permettere una efficienza spettrale migliore e più elevati dati d’utente.

I vantaggi, per quanto riguardano in termini di OPEX, includono:

- Risparmio di potenza e costruzione di impianti (non c’è bisogno di affittare lo spazio d’armadio alla base di ogni torre).
- Operazioni più ragionevoli sui siti cella (nessuna tecnologia digitale complessa da affrontare, nessuna differenza di backhauling tra le tecnologie 2G,3G,4G);
- Più semplice assistenza e riparazione, dovuta al processo di segnale digitale BBU confinato nella centrale;
- La possibilità di rilassare i requisiti di sicurezza (nessun armadio di rete da forzare)

Come illustrato nella figura 11 la più semplice architettura di rete in fibra prolunga le esistenti connessioni in fibra tra RRU e BBUs attraverso l'area di backhauling (fino a 20-40 km). Questo implica un massiccio utilizzo delle fibre ottiche nell'area d'accesso che sono già presenti in maniera inferiore (ad esempio a causa della messa in campo dell'infrastruttura GPON). Una scelta che potrebbe non essere del tutto in linea con quella dell'operatore. Un altro metodo interessante implica quindi la necessità di moltiplicare molti flussi CPRI sopra lo stesso mezzo fisico, sia attraverso la moltiplicazione elettronica o attraverso la moltiplicazione WDM ottica come viene mostrato nella figura 12.

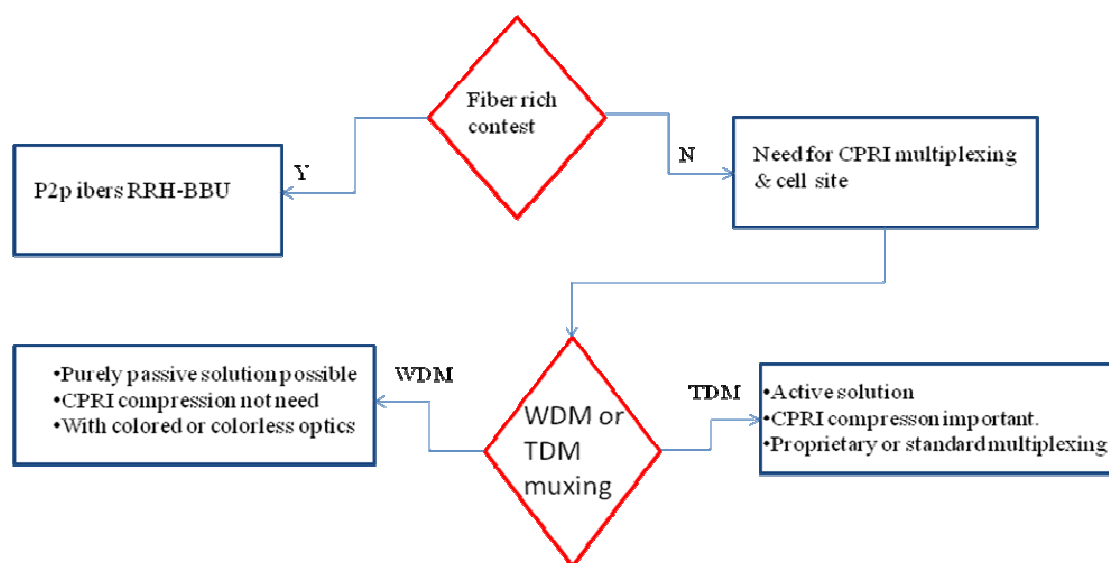


Fig.11 Alternative del CPRI backhauling [9]

In generale, la moltiplicazione TDM implica che debba essere collocata una scatola attiva (elettronica) nel sito cella al posto dei BBUs; ragionevolmente si presume che questa scatola sia indurita dalla temperatura per non richiedere l'aria condizionata in modo tale che sia più affidabile rispetto allo stack BBU e raramente richieda aggiornamenti software.

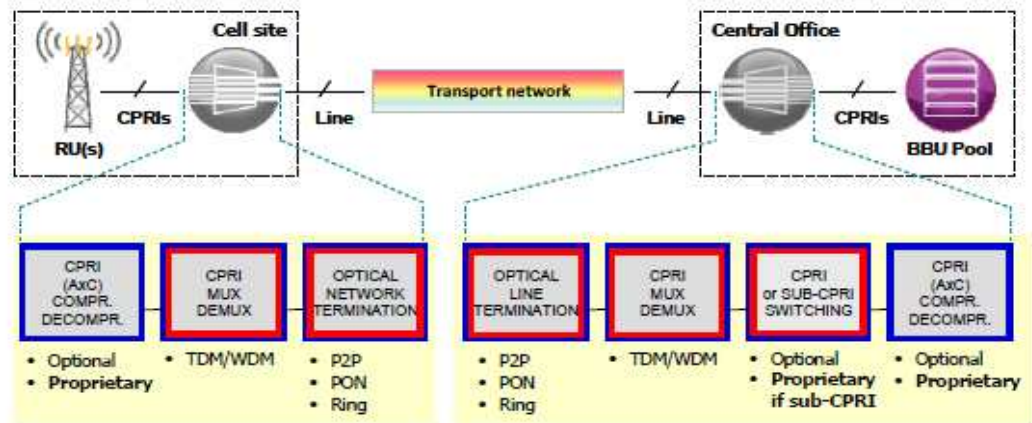


Fig.12 modello funzionale della rete CPRI backhauling [9]

La multiplazione WDM implica che le interfacce vengano attrezzate di moduli ottici colorati in una piccola scatola, e di nuovo nelle vicinanze del sito cella.

Nella figura, la possibilità della compressione CPRI e la decompressione per salvare la banda sopra alla rete di backhauling viene indirizzata, oltre alla possibile necessità di una funzione di passaggio, al CO per permettere il raggruppamento delle risorse computazionali BBU.

### 2.2.6 Architettura del CPRI

Le future stazioni radio base dovrebbero consentire una flessibilità di implementazione per gli operatori di rete mobile, cioè vale a dire che oltre ad esistere stazioni radio base concentrate, ci saranno architetture di sistema più flessibili che coinvolgeranno apparecchiature radio a distanza che dovranno essere supportate. Ciò può essere ottenuto mediante una decomposizione della stazione radio base in due blocchi, la cosiddetta “Radio Equipment Control”(REC) e “Radio Equipment” (RE) stessa. Entrambe le parti possono essere fisicamente separate (cioè, la RE può essere vicina all'antenna, mentre l'REC è situata in un luogo facilmente accessibile) o entrambe possono essere collocate come nella progettazione di una stazione radio base classica.

Il controllo di apparecchiature radio fornisce l'accesso al controller di rete radio tramite l'interfaccia Iub (per la rete di accesso radio UMTS), mentre l'apparecchiatura radio funziona come interfaccia aerea alla apparecchiatura dell'utente (in una rete UMTS, la cosiddetta

interfaccia Uu). Il REC comprende le funzioni radio della parte in banda base, mentre la RE contiene le funzioni radio analogiche. La scissione funzionale tra le due parti è fatta in modo tale che i dati possano essere definiti attraverso una generica interfaccia basata sulla fase e sulla quadratura (IQ).

Oltre al piano dei dati utente (dati IQ), sia il controllo che la gestione dei segnali di sincronizzazione devono essere scambiati tra il REC e il RE. Tutti i flussi informativi saranno multiplexati attraverso una serie di comunicazioni digitali con un adeguato utilizzo di protocolli di primo e secondo livello. I diversi flussi di informazione dovranno accedere allo strato di secondo livello attraverso opportuni “*service access points*” (SAP). Questi definiscono l’accesso radio comune.

L’interfaccia è illustrata nella figura 13:

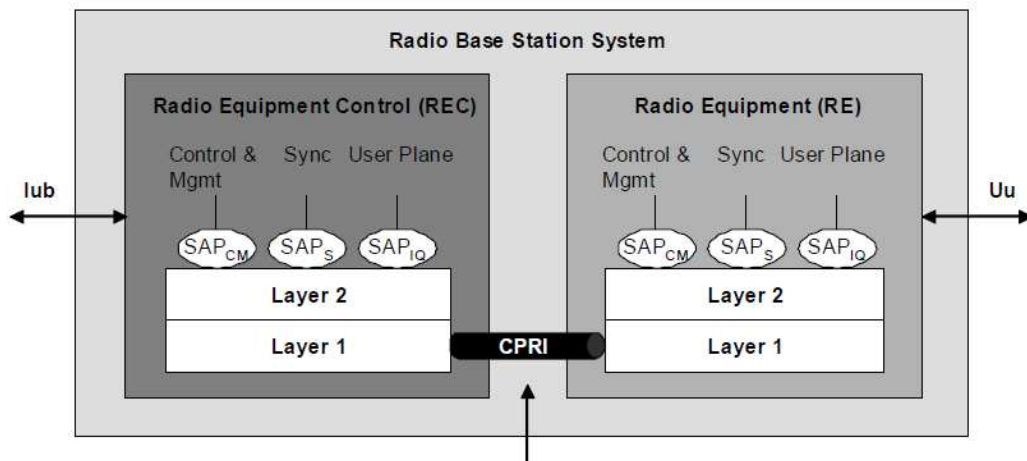


Fig.13 Architettura di base e definizione dell’interfaccia comune radio pubblica [15]

### 2.2.7. Configurazioni di riferimento del CPRI

Questo paragrafo illustra le configurazioni di riferimento che devono essere supportate dalla specifica CPRI. La configurazione di base, mostrata nella figura 14, è composta da un REC e un RE collegati mediante un unico collegamento fisico CPRI. La configurazione di base può essere estesa in diversi modi:

- In primo luogo, diversi collegamenti fisici CPRI possono essere utilizzati per migliorare la capacità del sistema come richiesto per grandi configurazioni di sistema che coinvolgono molte antenne e portanti (come illustrato nella Figura 15). Questa estensione della specifica è

semplice se si assume che un flusso di dati IQ di una certa antenna e una certa antenna-portante è trasportata da un link CPRI e non è distribuita su più collegamenti CPRI.

Pertanto, il numero di collegamenti fisici non è limitato da questa specifica.

- in secondo luogo, vari enti apparecchi radio possono essere serviti da uno REC come illustrato in figura 16.



Fig. 14: Collegamento singolo punto-punto tra un REC e RE [15]

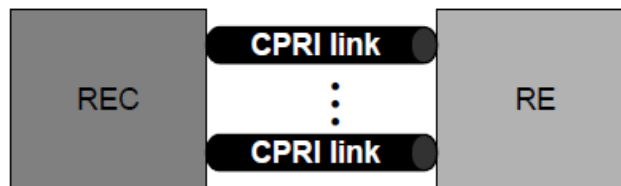


Fig. 15: Collegamenti multipli punto-punto tra un REC e un RE [15]

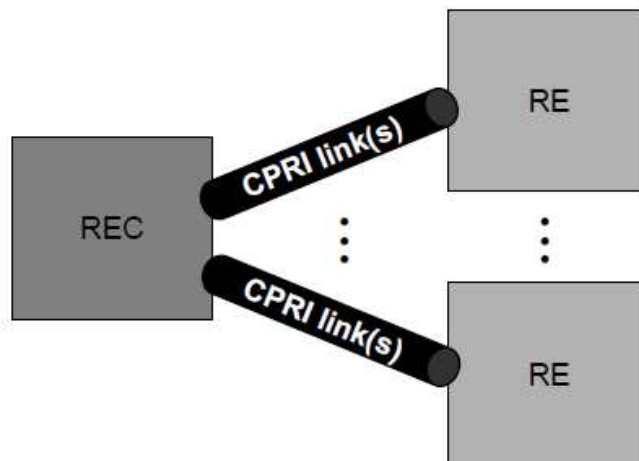


Fig. 16: Collegamenti Multipli punto-punto tra un REC molti RE [15]

### 2.2.8. Descrizione del funzionamento tra RE e REC

Questa sezione fornisce una visuale più dettagliata della divisione funzionale tra REC e RE per l'UMTS standard.

Il REC si occupa del trasporto Iub, del controllo della stazione radio base e della gestione nonché della elaborazione in banda base del segnale in formato digitale. L'apparecchiatura radio fornisce le funzioni analogiche e a radiofrequenza come il filtraggio, la modulazione, la conversione di frequenza e l'amplificazione. Una più dettagliata specifica sulla separazione tra REC e RE è riportata nella Tabella C.

Tabella C:Decomposizione funzionale tra REC e RE (valido per UMTS-FDD standard) [15]

Functions of REC		Functions of RE	
Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Radio base station control & management			
Iub transport		RRC Channel Filtering	
Iub Frame protocols		D/A conversion	A/D conversion
Channel Coding	Channel De-coding	Up Conversion	Down Conversion
Interleaving	De-Interleaving	ON/OFF control of each carrier	Automatic Gain Control
Spreading	De-spreading	Carrier Multiplexing	Carrier De-multiplexing
Scrambling	De-scrambling	Power amplification and limiting	Low Noise Amplification
Adding of physical channels	Signal distribution to signal processing units	Antenna supervision	
Transmit Power Control of each physical channel	Transmit Power Control & Feedback Information detection	RF filtering	RF filtering
Frame and slot signal generation (including clock stabilization)			
Measurements		Measurements	

## CAPITOLO III

### “Evoluzione del backhauling e Long Term Evolution”

#### **3.1 Introduzione delle tecnologie per il backhauling**

In questo capitolo andremo ad analizzare l’impatto che le nuove tecnologie hanno portato nell’evoluzione del backhauling sia dal punto di vista logico che fisico. Approfondiremo inoltre il backhauling in relazione alla tecnologia 4G LTE-Advanced e l’evoluzione che ha portato LTE a LTE Ad.

##### **3.1.1 Supporto di rete**

La rete di backhaul Mobile è un termine comunemente utilizzato per descrivere la connessione tra stazioni base e i ‘radio controllers’ nei sistemi cellulari su di una varietà di sistemi di trasporto differenti, come viene illustrato nella figura 1.

Il backhaul odierno si affida per la maggior parte su 3 mezzi fisici: Rame, fibra ottica e collegamenti a microonde.

Negli Stati Uniti , per esempio, le linee *T1/E1* in rame costituiscono approssimativamente il 90% delle implementazioni di backhaul seguite dai collegamenti in microonde (circa il 6%) e la fibra ottica (circa 4%). La fibra ottica può essere messa in campo in posizioni urbane e suburbane che vengono considerate zone ad alto traffico. Dall’altra parte, i collegamenti satellitari e radio a microonde vengono utilizzati in luoghi dove i backhaul sono difficili da mettere in campo. Le linee T1/E1 in rame dominano le soluzioni di backhaul, poiché esse forniscono un supporto adattabile per il traffico voce, con qualità (Qos) deterministica , bassa latenza e basse variazioni di ritardo (Jitter). In aggiunta, la temporizzazione e la sincronizzazione vengono intrinsecamente rese disponibili dalle linee T1/E1, che sono un requisito necessario nei sistemi cellulari. Fino ad ora, una delle due linee, quella in rame T1/E1 è stata considerata sufficiente per il sito cella e per gestire il traffico 2G includendo la voce e il servizio dei messaggi.

Recentemente ,comunque, la capacità di backhaul richiesta è significativamente cresciuta dovuta al crescente numero di utenti mobili e la disponibilità di servizi dati ad alta velocità.

Il crescente numero di utenti ha causato una crescita nel numero dei siti delle stazioni base e delle connessioni T1/E1 associate.



Negli Stati Uniti ad esempio, il numero delle stazioni base è cresciuto da 30045 unità nel 1996 a 213299 nel 2007. Dall'altra parte l'implementazione del GPRS e EDGE richiede 4 volte il numero di linee in rame T1/E1, paragonate a 5 anni fa e ci si aspetta che aumenterà a 8/16 volte quando le tecnologie HSDPA e LTE 4G saranno pienamente messe in campo. Come conseguenza, le linee T1/E1 in rame, il cui prezzo cresce linearmente con la capacità, non sono una scelta efficiente nei costi per implementare il backhaul.

La spesa per il backhaul rimane una delle più grandi preoccupazioni per gli operatori mobili. A causa della loro importanza, alcuni si sono riferiti ad esso come il riscaldamento globale in ambito delle telecomunicazioni.

Questo problema ha costretto alcuni providers a ricorrere a riduzioni della forza lavoro nell'accesso della rete business e a spostare le risorse verso l'area mobile del backhaul ed ha motivato molti operatori mobili a migrare verso soluzioni, efficienti nel costo, basate su connessioni a pacchetto.

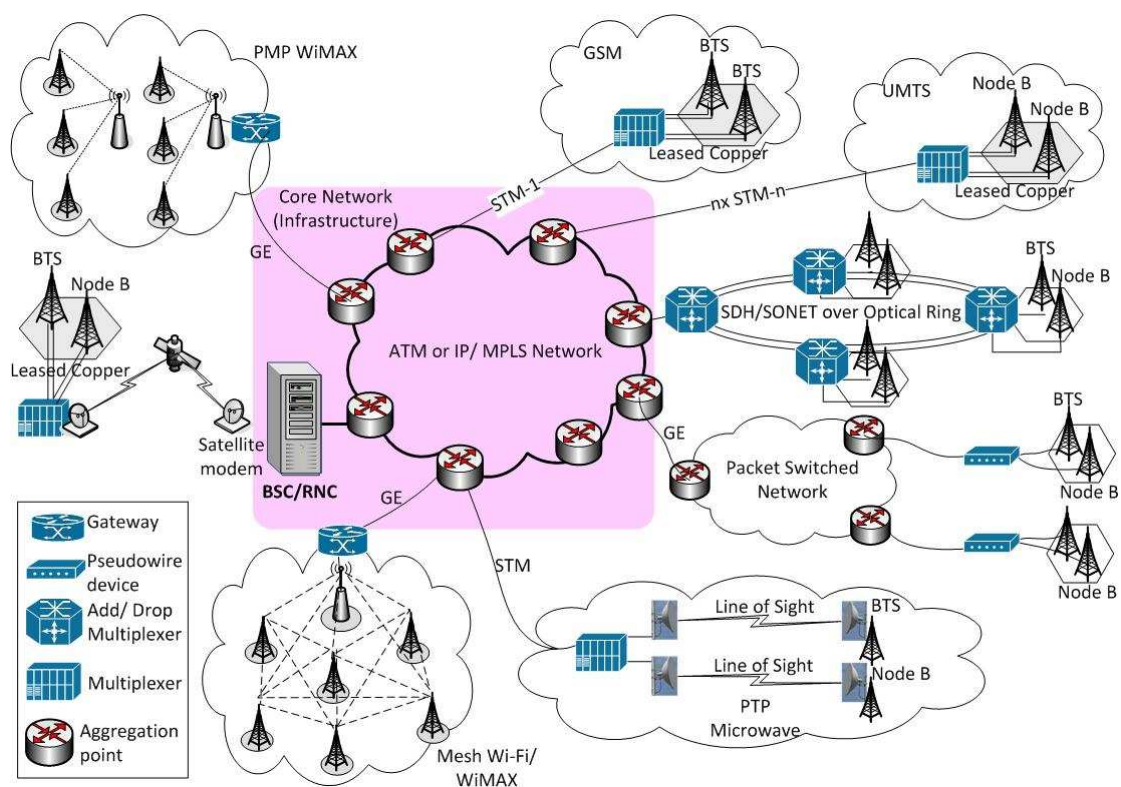


Fig. 1 Tecnologie di rete backhaul (BTS: Base Transceiver Station, BSC: Base Station Controller, RNC Radio Network Controller, PTP: Punto-Punto, PMP Punto-Multi-punto, GE Gigabit Ethernet) [10]

### 3.1.2 Dalle tecnologie di backhaul tradizionali a quelle emergenti

In questo paragrafo andremo ad analizzare la rete di backhaul partendo da reti di backhaul basate su cablaggi in rame passando a quelle in fibra ottica dando particolare attenzione alle tecnologie di backhaul come le microonde e il satellite e concluderemo facendo un breve accenno alle tecnologie Pseudowire.

#### 3.1.2.1 Reti di backhaul in rame e fibra ottica

I cablaggi in rame sono il mezzo tradizionale di backhaul tra le BTS e le BSC. Le tecniche TDM utilizzano le così dette *Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)* che sono prevalentemente tecniche che permettono la moltiplicazione dei canali voce dalle stazioni base e li trasportano verso la BSC in differenti time slots. A questo riguardo, ci sono 2 standard di gerarchie plesiocrone che sono molto simili nelle loro operazioni ma differiscono nel trattamento dei segnali: le portanti T (T1, T2, ..., T4) e le portanti E (E1, ..., E5).

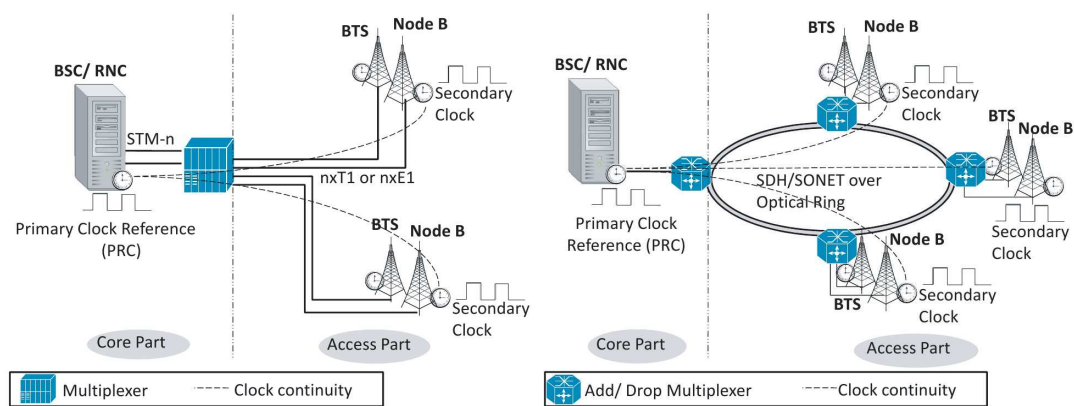
Per esempio, i collegamenti T1 operano a 1.544 Mbit/s mentre le connessioni E1 operano a 2.048 Mbit/s. Le portanti T sono utilizzate in Nord America e Giappone mentre le portanti E sono utilizzate nel resto del mondo.

Le connessioni T1/E1 possono essere messe in campo come sistemi punto-punto o sui sistemi di moltiplicazione PDH. La trama T1 consiste di 24 time slots di DS0; ognuno può supportare flussi voce a 64 kbit/s PCM. Tipicamente un DS0 viene dedicato per la segnalazione; quindi, senza alcuna compressione della voce, una linea T1 può trasportare 23 canali voce. Per E1, ci sono 32 time slots di DS0 dove 30 time-slots vengono utilizzati per le comunicazioni voce mentre gli altri due vengono utilizzati per la sincronizzazione di trama e la segnalazione. Per un migliore utilizzo della banda, le tecniche di compressione della voce così come G.729 e EVRC vengono introdotte per comprimere flussi voce codificati a 64 kbit/s PCM, che conducono ad un guadagno di throughput di 4 volte superiore (come un DS0 può supportare 4 flussi PCM utilizzando la compressione). Come risultato, un T1 può supportare  $23 \times 4 = 92$  flussi voce ed un E1 può supportare  $30 \times 4 = 120$  chiamate voce.

In molti casi le linee in rame T1/E1 da molteplici siti vengono fuse al moltiplicatore che gestisce connessioni T1/E1 a tassi superiori così come l'STM-1 (155.52 Mbit/s), STM-4 (622 Mbit/s) e l'STM standards che utilizzano il SONET (*Synchronous Optical Networking*) in nord America e il SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) in Europa e nel resto del mondo. Come nella figura 2, il backhaul TDM può distribuire l'informazione di temporizzazione attraverso la rete. Nei sistemi cellulari così come il GSM, il PRC (*primary reference clock*)

potrebbe essere collocato dal MSC (*mobile switching center*) o siti dei controllers delle stazioni base e i clock secondari vengono sincronizzati alla stazione base attraverso il clock primario di riferimento.

Il problema che sorge adesso è che poiché ci stiamo spostando verso reti a commutazione a pacchetto utilizzando tecnologie pseudowires, l'informazione di sincronizzazione viene persa. Questo è un problema reale, che se non venisse considerato, causerebbe dei problemi alle stazioni base che non saprebbero controllare le loro frequenze radio forzando la chiusura di alcune chiamate. La sincronizzazione di rete è molto importante soprattutto quando avvengono situazioni di handover nelle reti cellulari.



(a) Rete TDM di backhaul che utilizza l'aggregazione delle linee punto-punto

(b) Rete TDM Backhaul SDH/SONET sopra all'anello in fibra

Fig. 2 Reti TDM Backhaul (BSC: Base Station Controller, RNC: Radio Network Controller, BTS: Base Transceiver Station) [10]

Le tecniche SDH/SONET sopra alle fibre ottiche, possono anche essere implementate in topologia ad anello come mostrato nella figura 2b).

L'aggiunta o l'eliminazione di multiplatori è un elemento importante di una rete in fibra ottica che combina o gestisce molti flussi dati in bassa banda all'interno di un singolo raggio di luce. In aggiunta esso può aggiungere uno o più segnali a più bassa banda verso un flusso dati a banda più elevata, mentre allo stesso tempo può estrarre o eliminare altri segnali a bassa banda rimuovendoli dal flusso e reindirizzandoli verso altri cammini di rete. L'utilizzo di anelli in fibra SDH/SONET può solo essere giustificato quando certe condizioni di costi vengono soddisfatte e dove è possibile rimpiazzare le connessioni T1 ai siti cellulari basati su modelli di costo del backhaul

multi-parametro. I parametri includono la distanza tra il sito cella ed il multiplatore aggiunto o eliminato, il numero di connessioni, T1 per sito e il numero di siti cella che vengono connessi per mezzo dell'anello in fibra ottica. I risultati indicano che un anello in fibra dovrebbe almeno servire 4 siti cella per avere un'efficienza sui costi e che il backhaul ottico può raggiungere risparmi nei costi, abbastanza significativi (27% o più) per sito/cella con 4 o più connessioni T1.

I collegamenti radio a microonde sono una scelta alternativa per i collegamenti cablati del backhaul specialmente nelle aree geografiche limitanti dove le connessioni con i cavi non sono permessi.

### **3.1.2.2 Il backhaul wireless a microonde e satellitare**

La trasmissione a microonde può essere trasportata su varie bande di frequenze includendo bande con licenza ( dai 6 Ghz a 38 Ghz) e quelle non licenziate (2.4 Ghz e 5,8 Ghz). Utilizzando bande non licenziate si può ridurre il Capital Expense (CAPEX) ma questo genera problemi di interferenza.

L'utilizzo dello spettro influenza la capacità di banda e la distanza di copertura; più alta è la frequenza, più grande la capacità di banda e più è stretta la distanza di copertura.

In tutti i casi, anche se vi è la presenza della LOS (*Line Of Sight*) tra le celle, vengono richiesti punti di aggregazione e quindi le microonde vengono limitate ad una trasmissione a corta distanza quando vengono utilizzate in ambiente metropolitano.

Comunque nelle zone rurali quando la LOS è presente, la trasmissione delle microonde può essere velocemente installata per coprire lunghe distanze. Paragonate ai collegamenti in fibra T1/E1, implementare i collegamenti a microonde risulta più elevato in termini di CAPEX a causa dei costi di equipaggiamento e delle tasse per la licenza dello spettro, e comunque è verosimile incorrere meno in OPEX nel tempo.

Le microonde possono essere implementate in topologia punto-punto (PTP) e punto-multi-punto (PTM), o in configurazioni multi-hop proprietaria per una migliore copertura. Mentre i sistemi PTP richiedono una radio ed un' antenna al termine di ogni collegamento radio, nel PMP, una radio e un antenna nei punti di aggregazione sono sufficienti a servire il numero di siti cella. La tecnica di trasmissione digitale sopra ai collegamenti a microonde può essere basata su PDH, SDH/SONET o Ethernet (Gigabit Ethernet protocol).

La figura 3 mostra che la rete PTP di backhaul a microonde con la copertura della distanza crescente è il risultato dell'implementazione di un' architettura multihop.

I risultati di ricerca suggeriscono che utilizzando i collegamenti PTP verso il traffico di backhauling dai siti cella verso i collegamenti T3 in rame possono risultare nel risparmio significativo paragonati all'utilizzo del collegamento T1 in rame del backhaul.

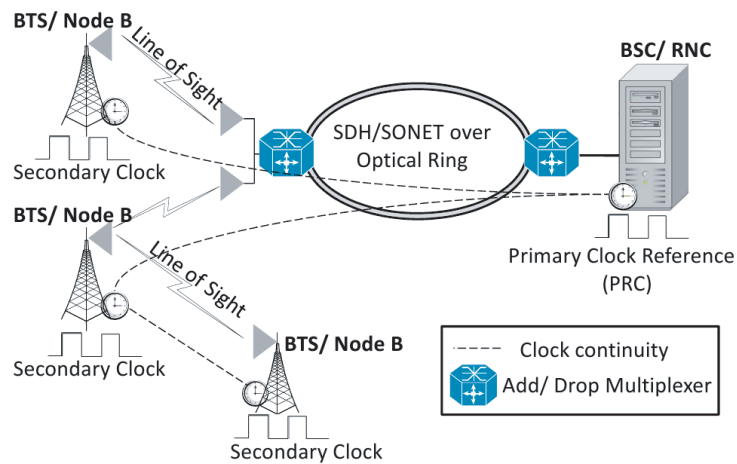


Fig. 3 Backhaul punto-punto a microonde (BTS: Base Transceiver Station, BSC: Base Station Controller, RNC: Radio Network Controller) [10]

In aggiunta mettere in campo una topologia PMP nella rete di Backhaul può solo essere efficiente in termini di costi se almeno 5 celle vengono servite da ogni sistema PMP.

Il backhaul a Satellite offre una soluzione per i luoghi dove nessun'altra tecnologia di backhaul è permessa. La trasmissione sopra ai collegamenti satellitari, per la rete di backhaul cellulare è per la maggior parte basata su tecniche T1/E1. I vantaggi dei collegamenti satellitari sono il loro basso tempo di installazione e la flessibilità di copertura mentre i maggiori inconvenienti sono l'alto costo e il lungo ritardo nella propagazione. Per esempio i ritardi nella propagazione per i collegamenti satellitari sono 270 ms più il ritardo del processo, che sono più accettabili rispetto al ritardo End-to-End per il servizio voce di 250 ms. In aggiunta, i costi di banda a 768 Kbit/s (metà T1) sul tempo base pieno è di 3000 \$, 6000\$ per mese e per un equivalente di una banda piena T1 (1,544 Mbit/s) è di 5000\$ - 12000\$ per mese (dati del 2002).

Per alleggerire queste spese, sono stati sottoposti dei meccanismi di fatturazione per aiutare a ridurre i costi da sostenere.

Questo è raggiunto grazie all'utilizzo delle tecniche DAMA (Demand Assigned Multiple Access) che dinamicamente allocano risorse di banda basate sulle richieste degli utenti.

La fattibilità dell'utilizzo della rete satellitare di backhauling è stata dimostrata nello sfidare i siti come isole o luoghi remoti dove soluzioni cablate non sono possibili.

Queste tecniche sono state implementate ad esempio in Micronesia (nell'oceano pacifico) dove si è installato un sito satellitare di backhauling, che ha dimostrato come tecniche con backhauling satellitare siano meno costose di soluzioni cablate sotto i mari

### **3.1.2.3 La Struttura dei collegamenti “pseudowire”**

Le tradizionali tecnologie di backhauling, descritte così per la maggior parte come strutture a commutazione di circuito, non erano adattabili alle moderne tecniche a commutazione a pacchetto. In questa maniera quindi i nuovi sistemi LTE e simili, si sono adattati alle nuove strutture a commutazione a pacchetto . Per questo motivo è stata introdotta la “*struttura pseudowire*” come tecnologia di trasporto per la parte di backhauling come ad esempio la struttura delle reti a commutazione a pacchetto TDM (Ethernet IP o MPLS).

Per quanto riguarda questo argomento il meccanismo del trasporto del traffico TDM sopra ad una rete basata a commutazione a pacchetto viene definita come “*emulazione di circuito*” o “*TDM Pseudowire*” e viene ampiamente diffuso ed accettato che le tecniche Pseudowire non solo offrono migliore integrazione di rete sopra alla commutazione a pacchetto, ma offrono anche costi significativamente più bassi per megabit, con un rapporto costo/megabit per il sistema T1/E1 di circa 6 a 12.

Infatti molti standards furono pubblicati dall'IETF all'epoca come RFC 5086 e RFC 5087 che indirizzavano il backhaul del GSM basato su tecnologia ad emulazione di circuito.

RFC 4717 e RFC 4816 indirizzavano il trasporto dei servizi ATM utilizzati nei sistemi di backhaul UMTS sopra alle reti a commutazione a pacchetto.

Molti standards pseudowire furono recentemente pubblicati dall'IETF come “*Pseudowire Emulation Edge To Edge*” (PWE3) che indirizzavano architetture, servizi nativi trame di protocolli, e tipologie di reti a pacchetto e aspetti operazionali. Alcuni di questi standards sono elencati nella tabella I:

TABELLA I  
PSEUDOWIRE STANDARDS [10]

Standards	Descrizioni
RFC 3985	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrive un' architettura per le reti Pseudowire</li> <li>• Descrive l'emulazione dei servizi, per esempio TDM e ATM sopra alle reti a pacchetto</li> </ul>
RFC 4385	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrive il design del controllo di rete Pseudowire per l'utilizzo su MPLS per distinguere il payload Pseudowire dai payload delle reti IP</li> </ul>
RFC 4448	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specifica l'incapsulamento del payload Ethernet che deve essere trasportato sopra MPLS</li> <li>• Specifica la procedura per utilizzare lo Pseudowire per fornire servizi Ethernet punto-punto</li> </ul>
RFC 4717	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specifica l'incapsulamento delle celle ATM che devono essere trasportate su MPLS</li> </ul>
RFC 4816	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrive i servizi trasparenti di trasporto della cella per incapsulare celle ATM che devono essere trasportate sopra alle reti a commutazione di pacchetto</li> </ul>
RFC 4842	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornisce formati di incapsulamento per emulare servizi SDH/SONET su MPLS</li> </ul>
RFC 5086	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrive un metodo per incapsulare flussi bit TDM che devono essere trasportati su reti a commutazione a pacchetto</li> </ul>
RFC 5087	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornisce i dettagli di incapsulamento del Payload TDM per reti specifiche a commutazione a pacchetto, come per esempio MPLS Ethernet.</li> </ul>

#### 3.1.2.4 Prospettive delle soluzioni wireless per il Backhaul

Con l'avvento delle tecnologie Pseudowire descritte nella sezione precedente, i ricercatori stanno cercando nuovi metodi per innovare ed utilizzare le nuove soluzioni wireless come il Wi-Fi e il WiMAX come prospettive tecnologiche, e di discutere delle prestazioni in termini di Troughput, distanza di copertura, efficienza dei pacchetti, e Qos relativa ai sistemi di backhaul.

#### 3.1.2.4.1 Tecnologia di rete Wi-Fi

Il Wi-Fi fu originariamente disegnato per l'utilizzo indoor basato sugli standards IEEE 802.11 ed opera su bande non licenziate a 5 Ghz e 2.4 Ghz. Ricerche avanzate nell'ambito sia nell'industria che in ambito accademico, hanno dimostrato la possibilità di poter realizzare connessioni Wi-Fi a lunghe distanze fino a 38 Km. Così il Wi-Fi può essere una soluzione appetibile utilizzata in combinazione allo pseudowire per il traffico di backhaul e può sostituire i collegamenti a microonde.

Una stazione base potrebbe avere un'interfaccia Wi-Fi con capacità costruite in base alla relazione con lo pseudowire e potrebbe indirizzare il suo traffico verso il punto d'accesso più vicino d'aggregazione oppure aggiungere un'unità.

Nonostante la tecnologia WiFi offra benefici di costi e flessibilità nella messa in campo per le reti di backhaul, essa pone problemi rilevanti per raggiungere un buon throughput, copertura delle distanze, overheads dei pacchetti, temporizzazione e sincronizzazione.

Per quanto riguarda il throughput, molti produttori di router WiFi hanno aggiunto ai loro prodotti 802.11 delle specifiche che permettono velocità fino a 108 Mbit/s. Inoltre il nuovo IEEE 802.11n standard ha migliorato significativamente il throughput fino a 600 Mbit/s utilizzando tecnologie MIMO, che utilizzano antenne multiple sia al trasmettitore che al ricevitore.

Un'altra tecnica utilizzata per incrementare la capacità è la tecnica di riuso spaziale TDMA (STDMA) che permette di aumentare la capacità gestendo la capacità dei canali. L'idea che sta dietro al STDMA è quella che quando i nodi wireless sono diffusi geograficamente, allora lo stesso time slot può essere utilizzato per trasmissioni in simultanea tra i nodi con sufficiente separazione di spazio.

In aggiunta, si richiede una pianificazione della frequenza tradizionale per migliorare la capacità di rete, dove l'utilizzo di canali non sovrapposti permettono simultanee comunicazioni tra i nodi senza l'interferenza.

Alla fine l'utilizzo delle tecniche di riuso delle frequenze sono sufficientemente ottimizzate per separare i segnali (WiFi).

Quindi le reti WiFi offrono una soluzione potenziale a basso costo per aggregare le connessioni del backhauling con un numero di stazioni base installate verso la core network



### **3.1.2.4.2 Tecnologia di rete WiMAX**

WiMAX fu originariamente disegnato per l'utilizzo outdoor ed è stato definito negli standards IEEE 802.16 per tecnologie wireless Broadband.

WiMAX è basato su tecnologia OFDM e fornisce un più elevato Throughput e più lungo raggio di copertura paragonato al WiFi. Esso può operare in bande non licenziate (2.4Ghz, 5.8 Ghz) e licenziate (tipicamente 700 Mhz, 2.3 Ghz, 2.5 Ghz e 3.5 Ghz).

Esso può ridurre l'effetto CAPEX al costo dei problemi di interferenza. Paragonato alle microonde, WiMAX è meno costoso in termini di licenza di tasse per lo spettro. In aggiunta, WiMAX può operare in scenari non-LOS mentre le microonde hanno requisiti molto stretti in termini di LOS.

Gli applicativi di backhaul possono essere utilizzati semplicemente sugli standards 802.16 per applicativi fissi punto-punto e punto-multi punto e topologie Mesh.

WiMAX supporta relativamente dati ad alto Throughput poiché sulla carta può fornire singoli canali dati a velocità da 75Mbit/s fino a 350Mbit/s attraverso canali di aggregazione multipli. WiMAX può anche operare in varie bande di frequenza che hanno effetto sulla banda complessiva del canale e sulla distanza di copertura. Più elevata la frequenza, più grande è la capacità di banda e minore è il raggio di copertura.

Recenti prodotti WiMAX sono messi in campo con stazioni base punto-multi punto con 6 settori dove ogni settore supporta un throughput di 6 collegamenti E1.

TABELLA II  
TECNOLOGIE DI BACKHAUL A CONFRONTO [10]

Tecnologia	Capacità	Distanza	QoS	Sincronizzazione	Costi
Linee T1/E1 in rame	Bassa (T1=1.544 Mbit/s E1=2.048 Mbit/s)	Nessun requisito aggiuntivo	Garantisce QoS	Fornisce temporizzazione e sincronizzazione	Basso CAPEX (già esistente); Alto OPEX (crescente: alti livelli d'affitto); I costi crescono linearmente con la capacità e sono proporzionali alla distanza
Fibra ottica	Alta [STS 1=51.84 Mbit/s STS 3c= 155.52 Mbit/s]	Nessun requisito aggiuntivo	Garantisce QoS	Fornisce temporizzazione e sincronizzazione	Alti costi di installazione; Costi proporzionali alla distanza
Ethernet/IP	Alta [10/100/1000 Mbit/s]	Nessun requisito aggiuntivo	QoS normalmente non supportato	Mancanza di temporizzazione e sincronizzazione	Efficiente nei costi
Microonde	Alta [2 Mbit/s-170 Mbit/s]	Requisito di LOS	Garantisce QoS	Fornisce temporizzazione e sincronizzazione	In testa alto CAPEX; Spettro licenziato libero; alti costi di maintenance.
Satellite	Media [384 Kbit/s-4.09 Mbit/s]	Estremamente flessibile in copertura	Problemi di ritardo nella propagazione	Fornisce temporizzazione e sincronizzazione	Molto più costoso paragonato alle altre scelte
Wi-Fi	Alta [11 Mbit/s (802.11b) 54 Mbit/s (802.11g) 600 Mbit/s (802.11n)]	Requisito di LOS; supporta Multihop per lunghe distanze	802.11e EDCA Forniscono classi di servizi ma non possono garantire QoS	Ha un semplice meccanismo per fornire temporizzazione e sincronizzazione ma il livello di accuratezza è inadeguato per le applicazioni di backhaul	Basso costo dovuto alla produzione di massa e allo spettro non licenziato
WiMAX	Alta [75 Mbit/s (singolo canale) 350 Mbit/s, multi-canale]	Supporta LOS e non LOS; supporta multihop per lunghe distanze	Garantiscono QoS in modalità PMP	Lo standard definisce l'utilizzo del GPS come riferimento d'orologio per la sincronizzazione di rete.	Spettro libero non licenziato; Ci si aspetta che il costo scenda a causa dello standard

### 3.1.2.5 Confronto tra Tecnologie di backhaul differenti

Dalla tabella II, possiamo vedere che la messa in campo di linee in rame fornisce un supporto adattabile per il backhaul 2G GSM dovuto alla Qos e il riferimento di sincronizzazione.

Comunque, per i sistemi UMTS 3G che necessitano di un supporto sia voce che di alto traffico dati, le linee in rame diventano una scelta a costo inefficiente, poiché il prezzo cresce linearmente con la capacità

Dall'altra parte, le tecnologie di trasmissione in fibra ottica offrono un alta capacità che è sufficiente per tecnologie cellulari 3G e 4G. Esso può anche garantire Qos e fornire il riferimento di tempo; comunque questo va a scapito dei costi di alta installazione e tasse di manutenzione.

Le reti a commutazione a pacchetto (come IP) offrono alta capacità (che dipendeva dal mezzo) significativamente a basso costo. Ad ogni modo si incorre in bassa efficienza dei pacchetti voce quando si trasportano i payloads, e non si supporta il Qos originario e la sincronizzazione.

Dall'altra parte, la messa in campo dei sistemi di backhaul wireless rilassa i requisiti di disponibilità delle connessioni cablate e le loro installazioni infrastrutturali. Le tecnologie a microonde che di solito utilizzano tecniche di trasmissioni sincrone (come SDH o T1/E1) possono garantire Qos, e fornire la sincronizzazione.

Esso può offrire i tassi dei dati da 2 a 170Mbit/s dipendendo dai protocolli delle trame e le tecniche di modulazione. Comunque, questo collegamento radio richiede LOS per le comunicazioni e pone in largo anticipo il CAPEX, in termini di costi di equipaggiamento e tassi per la licenza dello spettro.

Il backhaul satellitare offre una soluzione per le sfide delle aree dove è difficile implementare soluzioni cablate e dove è difficile implementare altre tecnologie.

Esso ha un flessibile raggio di copertura e fornisce il riferimento di tempo ma soffre del ritardo di propagazione ed alti costi paragonati ad altri metodi.

WiFi e il WiMAX sono tecnologie emergenti come tecnologie di backhaul dovute al loro alto throughput e lunga distanza di copertura.

Comunque, il WiFi soffre di molti svantaggi come la bassa efficienza nella gestione dei pacchetti, la mancanza della garanzia della Qos, e la mancanza di meccanismi di sincronizzazione che corrispondano ai requisiti degli applicativi del backhaul.

Dall'altra parte WiMAX ha molte caratteristiche che superano il WiFi.

Per esempio, esso può garantire la QoS e fornire una più accurata sincronizzazione di rete, paragonata alla rudimentale sincronizzazione del WiFi.

### 3.1.2.6 Tendenze delle reti basate su IP e le femtocelle

Gli operatori mobili ed i providers si stanno spostando verso reti IP nel quale tutto il traffico che partirà dalle base station sarà basato su protocollo IP e verrà trasportato su reti a commutazione a pacchetto con nessun requisito di emulazione di circuito. Questo concetto convergerà alla core network e all'accesso della rete e permetterà un risparmio sui costi e più semplice gestione e mantenimento. In aggiunta, ogni stazione base potrà essere servita da multipli controllers radio, che incrementeranno la disponibilità di banda.

Un prodotto incrociato tra tutte le architetture IP backhaul crea le così dette femto-celle che sono collocate sulla stazione base ed hanno una dimensione pari a quella del punto di accesso del WiFi e forniscono la connessione agli utenti cellulari sopra alla loro rete IP. Per esempio, una femtocella HSDPA può coprire gli utenti nelle loro case e il traffico di backhaul sopra ad una connessione a larga banda così come xDSL. In questa maniera le femto-celle possono ridurre la necessità di aggiungere le tradizionali torri base station; arrivando a ridurre i costi d'installazione

Le Femtocelle, anche chiamate stazioni base casalinghe, sono a basso costo ed installate dagli utenti per un migliore utilizzo del segnale indoor. Queste stazioni base casalinghe operano su una potenza di trasmissione a bassa potenza (100 mW o anche 10mW) e forniscono un raggio di copertura a corto raggio (20-30 m).

Esse condividono lo spettro licenziato allocato per i service provider (nel raggio di copertura di 1.9-2.6 Ghz) ed offrono tassi dei dati da 7.2-14.4 Mbit/s.

Le femtocelle comunicano con la rete cellulare sopra ad una connessione a larga banda così come xDSL. Questa tecnologia offre benefici agli utenti (ad esempio miglior segnale ricevuto) come gli operatori (più bassi costi di operatività).

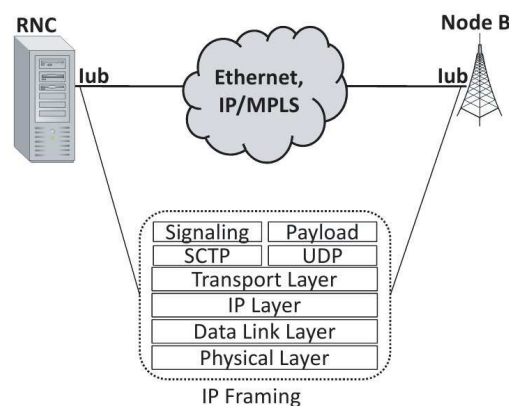


Fig. 4 Iub basato su IP e struttura del protocollo e interfaccia (84) [10]

### **3.2 Impatto sul backhauling delle tecnologie 4G**

LTE-Advanced è il prossimo passo evolutivo per quanto riguarda UTRAN LTE nel 3<sup>rd</sup> *Generation partnership Project* (3GPP).

Uno dei miglioramenti tecnologici nel LTE-Advanced, per raggiungere i requisiti di prestazioni che permettano di migliorare la qualità percepita dall'utente al bordo della cella, è il ripetitore wireless *Self-backhauling* chiamato "ripetitore di tipo 1". Nelle recenti conferenze 3GPP RAN, il ripetitore di tipo 1 è stato approvato come articolo nella release 10. Il ripetitore di tipo 1 è un trasmettitore/ricevitore che funziona nella banda *half-duplex* il che significa che il collegamento e il backhaul operano sulla stessa banda e la trasmissione sul collegamento d'accesso è modellato sul collegamento di backhaul reale e sulle considerazioni sui limiti di gestione d'accesso.

#### **3.2.1 Long Term Evolution Advanced**

LTE-Advanced rappresenta il nuovo passo evolutivo del LTE classico (Long Term Evolution), in modo da assicurare sempre la competizione sui sistemi di comunicazione a larga banda grazie al 3GPP. Questo lavoro iniziò come progetto per *IMT-Advanced radio interface technology*, che per raggiungere e superare gli obiettivi definiti da ITU-R per IMT-Advanced e i requisiti degli operatori 3GPP per l'evoluzione di E-UTRA (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*) ha permesso la sua progettazione.

LTE-Advanced dovrebbe supportare il tasso dei dati di 1 Gbps in Downlink e 500 Mbps in Uplink per la bassa mobilità. Soprattutto si desidera una distribuzione più omogenea della qualità percepita dagli utenti sull'area coperta, di conseguenza le prestazioni vengono trattate in maniera più oculata.

Il ripetitore è una promettente tecnologia che può testare la qualità percepita dall'utente durante il processo di roaming a bordo cella ed inoltre prova il sistema di copertura effettivo. Ripetendo la trasmissione dei dati tra l'utente e il eNB, l'utente che si trova a bordo della cella, o l'area che non ha copertura, otterrà la qualità del canale desiderata e nel frattempo ridurrà il consumo della potenza di trasmissione.

Dall'altra parte il ripetitore è disegnato per connessioni wireless con la rete d'accesso per mezzo di una cella Donor (rappresentante una stazione base connessa a un ripetitore o "relay" che opera servendo alcuni utenti tipicamente a bordo cella senza avere un proprio

backhauling poiché usufruisce della connessione in banda LTE con la sua stazione base di riferimento o "donatrice") che elimina gli alti costi del collegamento del backhauling.

Questo rende la messa in campo del ripetitore molto più velocemente, e lo rende flessibile e efficiente nei costi per gli operatori.

Dopo aver studiato la possibilità di implementare LTE-A e considerando i meriti che i ripetitori possono portare, il trasmettitore di tipo 1 è stato approvato come articolo di lavoro dal gruppo 3GPP nella release 10 nella conferenza/meeting 3GPP RAN nel dicembre del 2009 [11.]

### **3.2.2 valutazioni delle prestazioni LTE**

In generale le prestazioni dipendono dallo scenario, dai modelli e dalle assunzioni utilizzate nelle valutazioni.

Spesso le simulazioni che vengono effettuate corrispondono alle raccomandazioni della *next generation mobile network (NGMN)* che si allinea con la 3GPP.

In breve, negli ambienti urbani con una distanza media di 500 m, i terminali indoor vengono assunti a 2 Ghz di frequenza e 10 Mhz di banda.

La figura 8 mostra l'efficienza dello spettro ben superiore all'obiettivo di 1.53 bit/s/Hz/sector in downlink e 0.66 bit/s/hz/sector in uplink impostato dal 3GPP all'inizio della struttura dell'LTE.

Le barre superiori mostrano l'efficienza dello spettro del TD-LTE. Per il TDD, l'efficienza dello spettro è normalizzata dalla sotto scalatura nella banda del sistema con il relativo utilizzo del tempo (per i simboli dati) nella direzione in questione. Si può notare che sia in downlink che in uplink le prestazioni FDD e TDD anzi sono simili. Le differenze sono dovute al periodo di guarda del TDD, l' UpPTS e leggermente di più dai ritardi dovuti ai feedback della qualità del canale per il TDD.

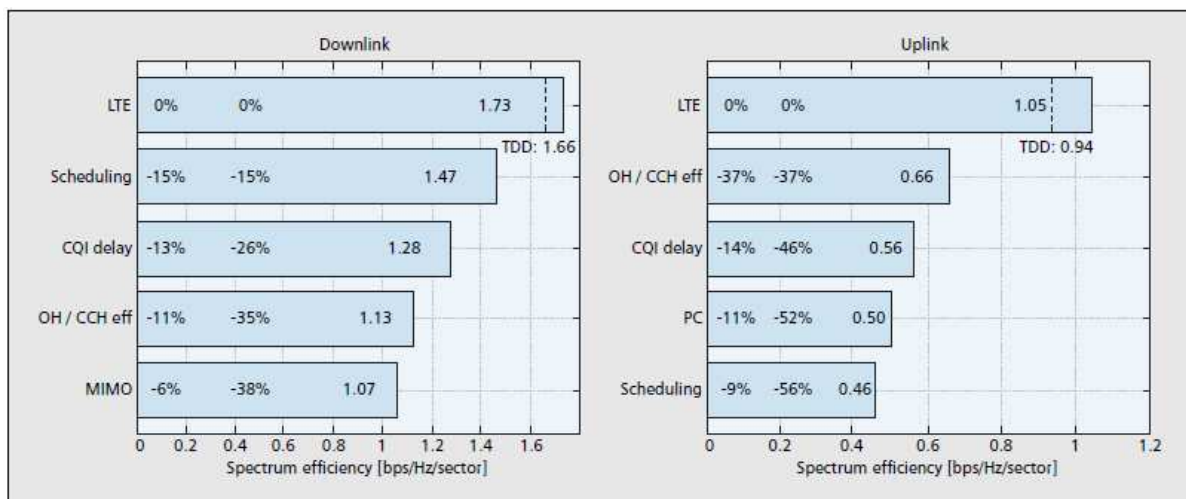


Fig 5. Efficienza spettrale in downlink e uplink [11]

### 3.2.3 LTE-Advanced —l’evoluzione del LTE verso IMT-Advanced

Come lavoro sulle prime release degli approcci dell’LTE, le attività sulle ulteriori evoluzioni di tale sistema hanno preso forma in maniera più concreta secondo le disposizioni della 3GPP nell’aprile del 2008. I requisiti per ulteriori avanzamenti per E-UTRA,” in gergo chiamato LTE-Ad hanno cominciato a prendere piede per evolvere il classico LTE.

L’obiettivo dell’LTE-Ad era quello di migliorare ulteriormente l’accesso radio dell’LTE in termini di prestazioni di sistema e capacità (come mostrato nei paragrafi precedenti).

Con lo specifico obiettivo di assicurare l’adattamento a tutti i requisiti dell’“IMT-Advanced” come definito dall’ITU (International Telecommunications Union).

Gli aspetti coinvolti, modificati secondo LTE-A, sono stati i seguenti:

- Aggregazione delle portanti: per esempio laddove vi erano portanti multipli di 20 Mhz aggregati per supportare la trasmissione di banda fino a 100 Mhz, le bande vengono organizzate in una larga banda complessiva per ogni tasso elevato dei dati.
- I ripetitori per provare la copertura e ridurre i costi di messa in campo
- La trasmissione multi-antenna (MIMO) che permette di incrementare il numero dei livelli di trasmissione downlink ad 8 e il numero dei livelli uplink a 4 per aumentare il tasso di trasmissione.
- Trasmissione/Ricezione Multi-punto (CoMP) dove la ricezione della trasmissione è effettuata unitamente attraverso siti di celle multiple (principalmente) per testare le

prestazioni dell'efficienza a bordo cella. Alcune misure, CoMP possono essere viste come un'estensione del ICIC, già presenti nella prima release delle specifiche.

E' importante notare che LTE-Advanced è un'evoluzione dell'LTE e non un nuovo sistema. I terminali LTE Advanced saranno capaci di accedere alle reti costruite in accordo alle specifiche della prima release LTE; ed inoltre anche i terminali LTE della prima release saranno capaci di accedere alla rete LTE Advanced. Questo è essenziale per fornire una facile transizione delle nuove caratteristiche in maniera, efficiente nei costi, laddove si verificano le necessità

### 3.2.4 La messa in campo dei ripetitori

Dato che i ripetitori di tipo 1 sono effettivamente degli strumenti che provano le prestazioni a bordo della cella e permettono di allargare il sistema di copertura, il layout e la collocazione dei ripetitori dovrebbero attentamente essere disegnati e pianificati per superare questa sfida. Una possibile implementazione del ripetitore di tipo 1 è distribuire i ripetitori vicino al limite della cella, per sfruttare ulteriormente il guadagno di copertura della cella.

La figura 6 mostra la messa in campo di un numero differente di ripetitori che sono stati utilizzati nell'analisi di questo paragrafo. La collocazione dei ripetitori nei 3 settori è la stessa, e in ogni settore i ripetitori vengono collocati vicino al bordo della cella e sono simmetrici rispetto al Donor dell'eNB.

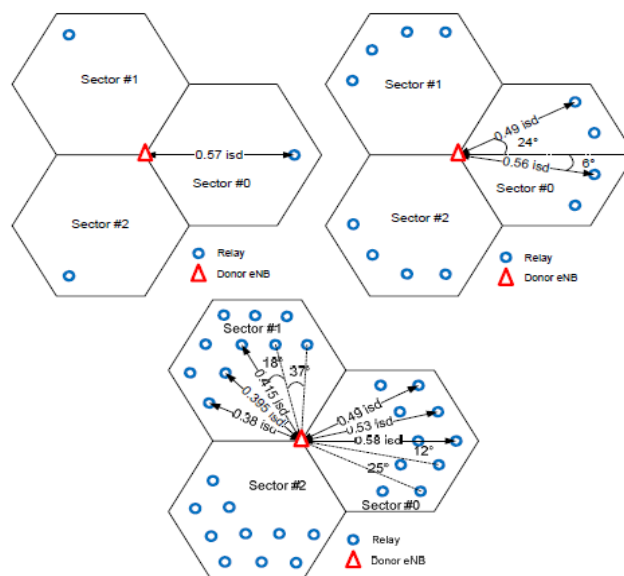


Fig.6 La messa in campo del ripetitore di tipo 1 (1, 4, 10 ripetitori per settore) [11]



### 3.2.5 Il collegamento tra ripetitori e stazioni base

L'interfaccia radio del collegamento del backhaul, è una nuova interfaccia che viene introdotta dal ripetitore di tipo 1 ma il riuso della maggior parte delle procedure radio, che già esistono in LTE, così come HARQ e le procedure di controllo di potenza, possono essere differenti tra il collegamento di backhaul e il collegamento d'accesso.

Nella nostra analisi HARQ del collegamento di backhaul utilizzerà la stessa operazione come per il collegamento d'accesso, ma utilizzerà HARQ con un RTT di 10 ms.

Invece per il controllo di potenza del collegamento del backhaul, solamente una procedura di potenza ad anello aperto viene utilizzato e gli stessi parametri di potenza frazionaria ( $p_0$  e  $\alpha$ ) vengono utilizzati nella rete d'accesso, sebbene i parametri del controllo di potenza non sono parametri ottimizzati per gli scenari dei ripetitori.

Come detto precedentemente, il collegamento del backhaul e il collegamento d'accesso sono multiplexati nel tempo il che significa che la trasmissione dei ripetitori sul collegamento del backhaul e la ricezione del ripetitore sul collegamento d'accesso non avverranno nello stesso momento. Per esempio, nella direzione Uplink, i ripetitori trasmetteranno solamente verso il donore eNB nelle sottotrame del backhaul e riceveranno solamente dai ripetitori vicini degli utenti. Questo è mostrato nella figura 7

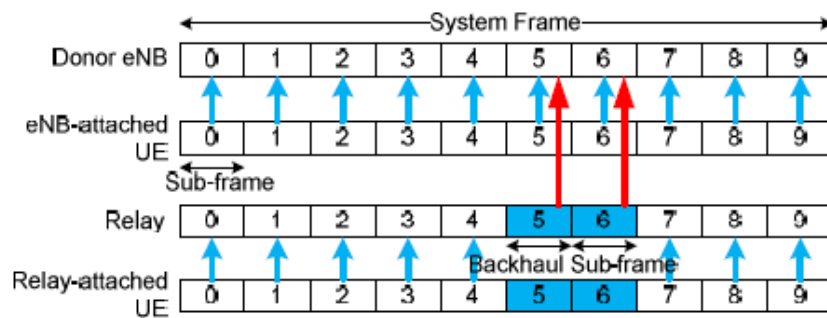


Fig.7 Esempio di multiplexing temporale del collegamento del backhaul ed il collegamento d'accesso per la parte Uplink [11]

In questa analisi assumiamo che le sotto trame del backhaul vengono utilizzate esclusivamente per i ripetitori Uplink con nessuna trasmissione dall'eNB vicino all'utente nelle sottotrame UE. Inoltre, tutti i ripetitori sono configurati con lo stesso numero e collocazione di sotto trame.

Le prestazioni del collegamento del backhaul sono importanti per le prestazioni del sistema dato che i dati di tutti i ripetitori vicini agli utenti sono inoltrati su di esso grazie ai ripetitori.

Così per ulteriori test sull'efficienza del backhaul, la direzionalità dell'antenna e la pianificazione dei siti vengono considerati nella valutazione di ottimizzazione di un sito. Questo significa che due insiemi di antenne vengono utilizzati come ripetitori ed un'antenna omni-direzionale viene utilizzata per il collegamento del backhaul. Per modellare il guadagno della pianificazione dei siti, vengono aggiunti 5 dB ai collegamenti tra i ripetitori e il sito Donor.

### **3.2.6 Prestazioni**

Le prestazioni del collegamento Uplink dei ripetitori di tipo 1 nel 3GPP LTE-Advanced è valutato ed analizzato con un modello reale del collegamento del backhaul e con l'organizzazione dei limiti per il collegamento d'accesso.

Possiamo notare che i ripetitori di tipo 1 portano un guadagno nelle prestazioni con un throughput medio aggiuntivo del 5% ed un guadagno extra potrebbe essere ottenuto dalla messa in campo di più ripetitori nel sistema. Soprattutto il guadagno di più del 5% è maggiore rispetto al guadagno medio UE, grazie alla messa in campo dei ripetitori vicino al limite della cella.

Dall'altra parte, l'effetto collo di bottiglia sul collegamento di backhaul viene osservato per un numero limitato di sottotrame del backhaul e anche per un grande numero di ripetitori per scenario, e così provare l'efficienza del backhaul è molto importante per il disegno dei ripetitori di tipo 1.

### **3.2.7 Tecnologia dei ripetitori nell'LTE-Advanced**

In generale ci sono vari tipi di nodi-ripetitori (RNs) per i ripetitori dei segnali radio che dipendono dalla tecnologia del ripetitore adottato.

Tra queste tecnologie ci sono i ripetitori di tipo L1 e L3 come mostrato nella figura 7:

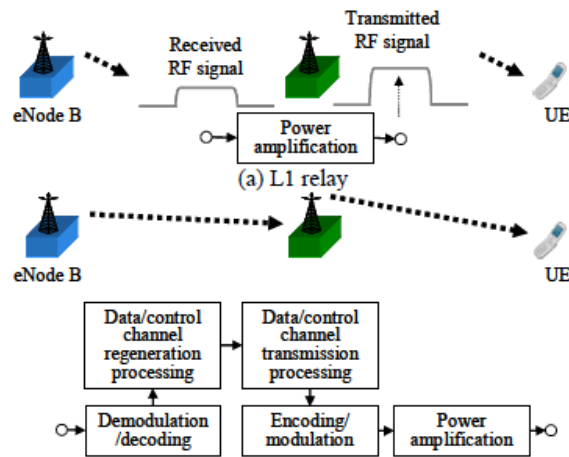


Fig 8 Tecnologie dei ripetitori L1 e L3 [15]

Un ripetitore di tipo L1 consiste nella tecnologia chiamata “booster” o “trasmettitore”. Questo è un tipo AF di tecnologia di ripetitore da cui i segnali a radio frequenza ricevuti in down link dall’eNode B vengono amplificati e trasmessi verso una UE. In maniera simile, i segnali RF ricevuti in uplink dalle UE vengono amplificati e trasmessi verso un eNode B.

Le funzioni dei dispositivi di un ripetitore L1 sono relativamente semplici, che rendono le implementazioni a basso impatto di costi ed i ritardi di processo brevi, associati al ripetitore. Le specifiche dei risultati a radio frequenza per i ripetitori son già stati specificati in LTE, e l’implementazione di questi ripetitori per lo stesso scopo è atteso in LTE-Advanced.

Considerando la compatibilità con l’eredità Rel. 8 LTE UEs, i ripetitori L1 potrebbero supportare sia i sistemi LTE che LTE-Advanced UEs.

Il ripetitore L1, comunque amplifica l’interferenza intercella e il rumore insieme ai componenti dei segnali desiderati, con questo deteriorando il SINR ricevuto limitando l’effetto del miglioramento del throughput.

Un ripetitore di tipo 3 effettua la demodulazione e la decodifica dei segnali ricevuti in down link dall’eNode B, ma poi effettua l’elaborazione (come la cifratura e la combinazione/divisione dei dati d’utente) per trasmettere i dati degli utenti attraverso un interfaccia radio, e alla fine codifica/modula e trasmette il segnale verso l’UE.

Il ripetitore di tipo L3 aggiunge un effetto di miglioramento di Throughput eliminando l’interferenza intercella e il rumore e poiché incorpora le stesse funzioni come un E node B, può avere un impatto minimo sugli standard, le specifiche e l’implementazione.

Al contrario il ritardo è causato dall’elaborazione dei dati dell’utente in aggiunta al ritardo causato dalla modulazione/demodulazione e i processi di codifica/decodifica.

Qua il collegamento del backhaul tra un eNode B e un ripetitore/nodo di tipo L3 e il collegamento d’accesso tra i ripetitore L3 e UE potrebbero operare su frequenze differenti o

sulla stessa frequenza. Nell'ultimo caso, se i processi di trasmissione e ricezione sono effettuati nello stesso momento al ripetitore di tipo L3, i segnali trasmessi causeranno interferenza con il ricevitore di tipo L3 quanto a lungo è sufficiente l'isolamento che non è fornito nei circuiti di trasmissione e ricezione. Nella Release LTE 10 quando si opera sulla stessa frequenza senza sufficiente isolamento tra i circuiti di trasmissione e ricezione (in banda *half-duplex* un ripetitore L3), il collegamento di backhaul e le risorse del collegamento d'accesso radio sono TDM (*time division multiplexing*) così che la trasmissione e la ricezione nel ripetitore non sono effettuate simultaneamente. Il nodo ripetitore ha di particolare un unico identificatore di cella (ID), che è differente rispetto al nodo Enode B, in questa maniera, UE può riconoscere che una cella fornita da un ripetitore differisce da una cella fornita dall'Enode B.

Dai segnali di controllo del livello fisico così come il *Channel Quality Indicator (CQI)* e *Hybrid ARQ (HARQ)* può terminare ad un nodo ripetitore L3

### **3.2.8 Prestazioni in termini di throughput della messa in campo dei RN**

Nella tabella III si mostra il throughput medio per cella e a limite cella dell'UE per i sistemi di ripetitori di tipo L1 e L3.

Infatti si può vedere che il guadagno in termini di throughput (specialmente per i ripetitori per i ripetitori delle celle TP) della messa in campo di un ripetitore è più basso rispetto alla messa in campo dei ripetitori fissi.

Questo accade perché la qualità del collegamento del backhauling nella messa in campo di alcune RNs è peggiore rispetto alla messa in campo dei ripetitori fissi.

Per esempio, per due RNs per macro-celle, il guadagno del throughput del ripetitore di tipo L1 sopra ai sistemi RN è approssimativamente al 3% (13%), e il guadagno del throughput della cella (UE al limite-cella) di un ripetitore di tipo L3 di un sistema RN è approssimativamente 6% (17%).

L'impatto del sistema in alcune condizioni per il ripetitore così come la posizione del ripetitore, il numero dei nodi-ripetitori e il numero delle sottotrame del backhaul (collegamento radio tra i eNode B e il ripetitore L3) ha dimostrato il guadagno in termini di prestazioni del Rel. 10 LTE tra ripetitori di tipo L3 e L1.

Tabella III. prestazioni in termini di Throughput-Cella (limite cella UE) (Messa in campo dei RN)

(a) 1 RN / Macro-cell [15]

	Number of backhaul subframes	Total cell TP (Macro-cell TP, Relay-cell TP) (Mbps)	Gain to no RN,	Cell-edge UE TP (Mbps)	Gain to no RN
No RN	-	21.4 (21.4, -)	-	0.238	-
L1 relay	-	22.0 (22.0, -)	2.8%	0.254	6.7%
L3 relay	2	22.2 (19.6, 2.6)	3.7%	0.251	5.5%
	4	22.2 (19.2, 3.0)	3.7%	0.249	4.6%
	6	22.1 (19.0, 3.0)	3.3%	0.250	5.0%

(b) [15] 2 RNs / Macro-cell

L1 relay	-	22.1 (22.1, -)	3.3%	0.269	13.0%
L3 relay	2	22.4 (18.5, 3.9)	4.7%	0.267	12.2%
	4	22.6 (17.8, 4.7)	5.6%	0.276	16.0%
	6	22.6 (17.8, 4.8)	5.6%	0.279	17.2%

(c) [15] 4 RNs / Macro-cell

L1 relay	-	22.5 (22.5, -)	5.1%	0.291	22.3%
L3 relay	2	22.8 (18.0, 4.8)	6.5%	0.237	0%
	4	22.8 (15.6, 7.4)	6.5%	0.329	38.2%
	6	22.9 (14.9, 8.0)	7.0%	0.327	37.4%

## Conclusioni

L'argomento principale di questa Tesi è stato quello di poter riassumere gli impatti che le nuove tecnologie hanno avuto sul mondo delle Telecomunicazioni e soprattutto come queste hanno sviluppato e svilupperanno nuovi sbocchi per quanto riguarda l'evoluzione dei nuovi apparati.

Abbiamo analizzato le tecniche che hanno permesso di gestire il nuovo traffico come ad esempio il V-MIMO attraverso la gestione in diversità degli utenti. Queste tecniche hanno sicuramente permesso un'evoluzione costante degli apparati fisici e logici introducendo dei meccanismi di gestione del traffico attraverso il coordinamento delle antenne sia lato ricezione che trasmissione.

La difficoltà nel gestire una domanda sempre crescente del traffico voce e dati sui terminali mobili ha portato la rete ad implementare soluzioni intelligenti come le "Radio Cognitive" capaci di adattarsi al traffico in maniera completamente autonoma e nel contempo senza dover appesantire la struttura di coordinamento ottimizzando la banda grazie all'utilizzo dinamico delle frequenze non utilizzate. Dall'altra parte oltre al coordinamento tempestivo di una risorsa così rara come la banda abbiamo illustrato come gli stessi apparati di rete siano mutati in virtù della necessità di adattare i nuovi sistemi a quelle che sono le moderne esigenze causate dalla migrazione di sistemi integrativi quali sono gli smartphone moderni.

Numerose ricerche hanno portato all'introduzione di sistemi di rete semplificati rispetto alla tecnologia 3G ma soprattutto a cercare soluzioni non più basate su tecnologia a commutazione di circuito ma a pacchetto. Rispetto alla tecnologia 3G, ove l'evoluzione è stata semplicemente di tipo capacitivo, la tecnologia 4G ha messo in discussione persino gli apparati di rete stessi introducendo il concetto di *micro-cella* e di *aggregazione della rete d'accesso* per permettere di veicolare il traffico in maniera più eterogenea.

Uno dei punti salienti è stato quello di analizzare come l'aumento del bisogno di capacità potesse impattare tutto il sistema radiomobile che fin dai primi anni 90' ha permesso la gestione mobile del servizio voce e dati.

In un mondo dove la sinergia degli apparecchi tecnologici è forte la rete ha dovuto rispondere con l'introduzione di tecniche sofisticate per poter rispondere alle necessità crescenti.

Questo ha sicuramente portato all'introduzione di LTE-A sfruttando da una parte le nuove tecnologie wireless e dall'altra l'interazione con i nuovi apparati di rete sfruttando la

tecnologia internet.

Gli stessi apparati di rete sono mutati a supporto di capacità molto elevate utilizzando una rete di backhauling ottica con tecniche di modulazione WDM.

Inoltre proprio perché i nuovi sistemi dovranno convivere per un lungo periodo con i vecchi sistemi, è stato introdotto il concetto di “emulazione di circuito”.

Infatti l'emulazione di circuito (pseudowire) ha permesso di emulare un circuito attraverso una connessione a pacchetto ove però la QoS non viene garantita. In compenso questo utilizzo di banda permette una migliore gestione degli utenti essendo molto più fluida grazie alle numerose tecniche di modulazione e gestione coordinata.

Successivamente si è tentato di dare uno sguardo alle nuove reti nascenti in correlazione alle prestazioni delle reti Wi-Fi che potranno essere in futuro una valida alternativa alle reti mobili o a seconda delle necessità persino una buona soluzione sinergica.

Infine si è cercato di fare un po' di chiarezza su quali saranno gli aspetti sui quali lavorare in futuro per poter gestire al meglio le future richieste di traffico.

## Riferimenti bibliografici

- [1] Bhargava V. K, Hossain E., Kim D. I. “Cooperative Cellular Wireless Networks”, Cambridge University Press 2011.
- [2] Cai T., Koudouridis G. P., Johannsson J., Petrova M., Nasreddine J., Mahonen P., Van de Beek J., “An implementation of Cognitive Resource Management on LTE Platform”, 21<sup>st</sup> international Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications 2010.
- [3] Gebert D., Hardouin E., Jorgen B. H., Papadogiannis A., “Efficient Selective Feedback Design for Multicell Cooperative Networks”, IEEE transactions on vehicular technology, vol. 60 , No. 1, January 2011
- [4] Mitola J., “Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio”, PhD. Dissertation, KTH (Royal Institute of Technology), 2000
- [5]”Final system architecture,” ARAGORN Project deliverable D3.3, 2010. [Online] Available: [http:// www.ict-aragorn.eu/fileadmin/user\\_upload/deliverables/Aragorn\\_D33.pdf](http://www.ict-aragorn.eu/fileadmin/user_upload/deliverables/Aragorn_D33.pdf) [last visited: 12.05.2010]
- [6] Gesbert D., Zakhour R., “Optimized Data Sharing in Multicell MIMO With Finite Backhaul Capacity”, IEEE Transaction on Signal Processing, vol No 12 December 2011
- [7] Shamai S. (Shitz) and M. W., “Rate-limited transmitter-cooperation in Wyner asymmetric interference network,” Information Theory Proceedings (ISIT), IEEE International Symposium on pages 455-429, Aug 2011
- [8] Angel A. M., Frederic J., Tamas M., Paolo V., “LTE backhauling deployment scenarios”, Project “P-OSB: Optimized Backhaul”, Contributors: “NGMN Optimised Backhaul Project Group” 3<sup>rd</sup> July 2011



[9] Lometti A., Sestito V., "Optical Access Architectures for Backhauling of Broadband Mobile Networks", "Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (NETWORKS), 2012 XVth International

[10] Jukan Admela, Tipmongkolsilp Orawan, Jukan Admela, "The Evolution of Cellular Backhaul Technologies: Current Issues and Future Trends", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.13, No 1, 2011

[11] Han Jing, Wang Haiming,"Uplink Performance Evaluation of Wireless Self-Backhauling Relay in LTE-Advanced", "Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 6th International Conference on" 23-25 Sept. 2010

[12] Hou Xiaolin, Kayama Hidetoshi,Zhang Zhan,"Adaptive Multi-Tx Multi-Rx MIMO Transmission Scheme for LTE-Advanced Downlink", IEEE "Globecom" 2009 proceeding

[13] Astély David, Dahlman Erik, Furuskär Anders, Jading Ylva, Lindström Magnus, and Parkvall Stefan," LTE: The Evolution of Mobile Broadband", IEEE Communications Magazine April 2009

[14]"Industry leaders releases CPRI specification for 3GPP Long Term Evolution (LTE)" [Online] Available: <http://www.cpri.info/press.html>, Date: Tuesday, October 04 2008

[15] Nagata S., Yan Y., Gao X., Li A., Kayama H., Abe T. and Nakamura T., "Investigation on System Performance of L1/L3 Relays in LTE-Advanced Downlink" Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd

[16] CPRI Specification V1.4, Common Public Radio Interface (CPRI) Interface Specification.

[Online] Available: [http://www.cpri.info/downloads/CPRI\\_Specification\\_V\\_1\\_4.pdf](http://www.cpri.info/downloads/CPRI_Specification_V_1_4.pdf)

## Ringraziamenti

Tra tutte le pagine della Tesi questa è stata quella più ardua da scrivere e dopo tanto, tanto tempo ma soprattutto tanti anni mi trovo qua a ricordare tutti coloro che mi hanno accompagnato in questo lungo viaggio.

Ringrazio innanzitutto il Prof. Reggiani che si è reso sempre molto disponibile e mi ha seguito personalmente nello sviluppo di questa Tesi.

Ringrazio mio “Nonno”, il Nonno Alberto che ho naturalizzato come mio e che ha in pieno sostituito il nonno che non ho mai potuto avere e mi ha insegnato ad apprezzare le cose belle della vita spiegandomi il significato di molte cose importanti e la bellezza della Matematica in quel lontano pomeriggio di Novembre e senza il quale non avrei mai potuto frequentare la facoltà di Ingegneria con così tanto Ardore.

Ringrazio Angelo, il mio carissimo compagno di viaggio, con il quale ho affrontato tante riflessioni e mi ha aiutato a trovare la forza dentro di me con la sua durezza e la sua caparbia.

Ringrazio Daniele perché è sempre stato capace di sostenermi nonostante il pessimo carattere che mi ritrovo e nelle giornate difficili.

Ringrazio Francesco, che ha saputo ascoltarmi da vero amico quando ne avevo necessità soprattutto capace di infondermi fiducia anche nelle occasioni in cui tutto sembrava diventare più difficile.

Ringrazio Patrick, con cui ho passato delle notti a studiare, e che mi ha mostrato che con la volontà e la grinta si possono raggiungere obiettivi che vanno aldilà di alcuni semplici risultati.

Ringrazio Gaia, che mi ha insegnato la comprensione e l'affetto e mi ha reso, anche se non immediatamente, una persona migliore.

Ringrazio Margherita per le ore passate su quelle panchine a parlare del futuro che sembrava così lontano e invece si è avvicinato molto velocemente.

Ringrazio Camilla, l'altra sorella che ho acquisito nel tempo, che mi ha sempre fatto sorridere in un modo o nell'altro.

Ringrazio Mariano, con cui ho passato uno degli anni più belli dell'università e che sapeva sempre trovare un diversivo intelligente allo studio pur essendo capace di manifestare grande interesse per quello che stava studiando.

Ringrazio Vincenzo che è stato capace di insegnarmi ancora qualcosa che pensavo fosse sopito e invece era ancora là nel profondo.

Ringrazio mia madre che ha cercato sempre di starmi vicino.

Ringrazio Anna che mi ha accolto nella sua famiglia come un figlio e mi ha sempre spronato a continuare.

Ringrazio Manuela che mi ha regalato il primo vocabolario e mi ha sempre saputo apprezzare per quello che sono.

Ringrazio Cristian che si è sempre dimostrato un buon amico e persona di buon senso.

Ringrazio mia Zia Simona che ha sempre fermamente creduto in me e non si è mai rassegnata sia in passato che oggi, sostenendomi anche nei momenti realmente difficili e non solamente a parole.

Ringrazio mio Zio Marco che mi ha accolto in casa come "un figlio" sia in passato che oggi facendomi sempre sentire parte integrante della famiglia.

Ringrazio mia sorella Elisabetta che nonostante le diversità di vedute ha creduto in me, sempre.

Ringrazio mio cugino Luciano che è sempre stato capace di vedere le cose da una prospettiva diversa ed è stato capace di sostenermi anche se il tempo non ci è stato amico.

Ringrazio mio cugino Federico che è stato capace di fare una rinuncia per me, qualcosa che ho apprezzato moltissimo.

Ringrazio mio cugino Giulio che nonostante il suo carattere maldestro non mi ha mai fatto sentire un estraneo ma anzi mi ha reso partecipe delle sue goliardie.

Ringrazio Luca con cui ho condiviso gli ultimi esami e che mi ha ospitato spesso per studiare ascoltando le mie innumerevoli lamentele su molti argomenti.

Ringrazio Virginia senza la quale non sarei stato capace di affrontare moltissime giornate come quelle dell'anno passato spronandomi e facendomi conoscere così tante persone degne di reale stima.

Ringrazio la famiglia Lamanna che mi ha accolto come uno di loro e mi ha fatto sentire a casa.

Ringrazio mio padre che con il silenzio forse qualcosa mi ha davvero insegnato.

Ringrazio Dio che ancora oggi illumina la mia strada e che spero illuminerà il mio cammino nel futuro e sempre.

Ringrazio tutti quelli che mi sono stati vicini in questi anni e che non ho tracciato su questa tesi solamente per una questione di tempo.

**GRAZIE**