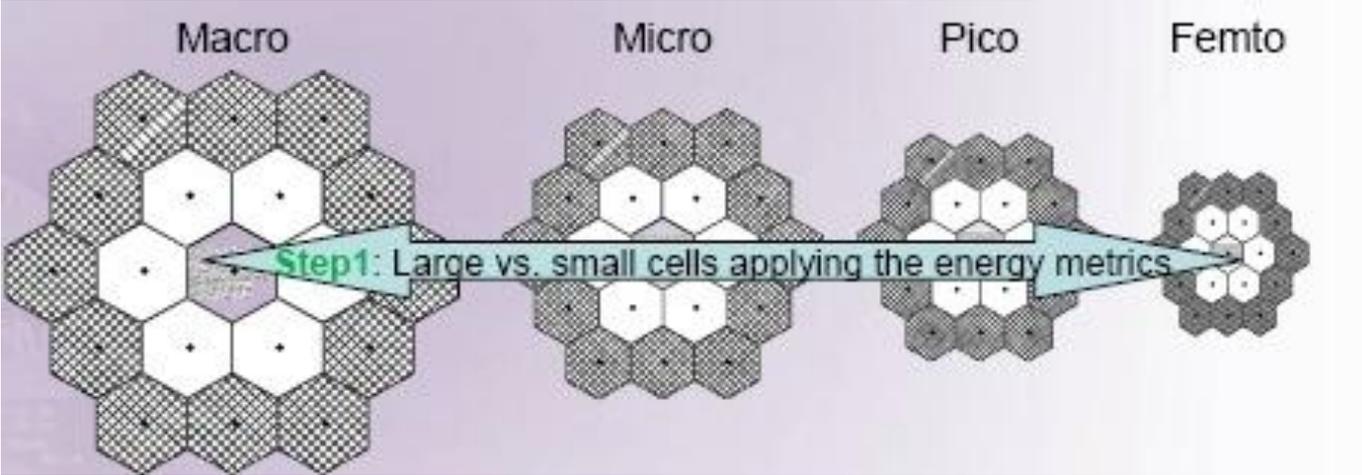


*Evoluzione dell'architettura delle
rete di comunicazione
(in ottica Green ICT)*

Evoluzione dell'architettura di rete

Sempre più verso un accesso localizzato

la tendenza è di ridurre sempre di più la distanza tra la backhaul e il terminale d'accesso (telefonino, laptop ect.)



Evoluzione dell'architettura di rete

Evoluzione dell'architettura delle rete di comunicazione
Sempre più verso un accesso localizzato

Nota: *la motivazione principale che sta portando i sistemi verso un accesso sempre più localizzato, non è stata l'efficienza energetica ma la maggiore efficienza spettrale*

Gran parte dell'aumento nella velocità di trasmissione che si è raggiunto con le nuove tecnologie radio, è legato al concetto di riuso della frequenza: la stessa banda può essere utilizzata più volte da utenti che sono "geograficamente" separati. Gli utenti ricevono quindi il segnale ad un livello di potenza sufficientemente basso da non causare interferenza ad altri utenti che stanno usando la stessa banda, ma geograficamente lontani (ma sufficientemente alto da garantire la Qualità del Servizio).

Idealmente, se si dimezza la distanza tra le stazioni base di un sistema cellulare che usano la stessa porzione di banda, potenzialmente la stessa banda può essere usata 4 volte, aumentando così di 4 la capacità del sistema cellulare.

Evoluzione dell'architettura di rete

Esercizio per dimostrare l'aumento della capacità al decrescere delle dimensioni della cella

Si consideri una città quadrata di 100km quadrati

Supponi di dover progettare un sistema cellulare con celle quadrate che indipendentemente dalla dimensione della cella, ogni cella porta 100 canali ossia serve 100 utenti attivi (che stanno effettuando una telefonata) contemporaneamente.

Nota che in pratica il numero di utenti che una cella può supportare non dipende dalla sua dimensione se chiaramente, i modelli di propagazione e la potenza trasmessa sono scalabili con la dimensione della cella (cella più piccola trasmette meno potenza di cella più grande e quindi il raggio è minore).

1) Quanti sono gli utenti attivi che il sistema cellulare complessivamente può servire se le celle sono di 1km quadrato?

Soluzione: avremmo $100/1=100$ celle di 1km quadrato e quindi, $100*100=10000$ utenti attivi

1) Che celle dovresti avere se dovessi servire un totale di 250000 utenti?

Soluzione: se dovessi servire 250000 utenti attivi, siccome ogni cella serve sempre e solo 100 utenti, avrei bisogno di $250000/100=2500$ celle e quindi, avrei bisogno di celle di $100\text{km}^2/2500=0.04\text{km}^2$  celle 25 volte più piccole

Evoluzione dell'architettura di rete

Esercizio: implicazioni di tipo economico alla riduzione della cella

Supponiamo che il Venerdì dalle 5 alle 6 del pomeriggio sia l'orario di punta per le telefonate da cellulari

Supponiamo che tra le 5 e 6, ogni utente nella cella fa una sola chiamata che dura 2 minuti. Il sistema è progettato per tollerare una probabilità di blocco non superiore al 2% durante quest'orario di punta.

Si richiama che la probabilità di blocco si può calcolare usando il modello Erlang B:

$$P_b = \frac{\left(\frac{A^C}{C!} \right)}{\sum_{k=0}^C A^k / k!}$$

Dove C è il numero di canali, e $A = U\mu H$ con U il numero di utenti, μ il numero medie di richieste di chiamate per unità di tempo e per utente, e H la durata media di una chiamata

Evoluzione dell'architettura di rete

Esercizio: implicazioni di tipo economico alla riduzione della cella

Qual è il numero totale di utenti (non solo quelli attivi, ma tutti) che la macrocella può servire (1km²) e la microcella (40m²) può servire?

Soluzione: se ho U utenti nella cella, e ognuno fa una chiamata singola tra le 5 e le 6, allora $\mu=1/(60)$ richieste di chiamata al minuto per utente $\longrightarrow A=(U/60)*2=U/30$
 $C=100$



$$P_b = \frac{\left(\frac{(U/30)^{100}}{100!} \right)}{\sum_{k=0}^{100} (U/30)^k / k!} < 0.02 \quad \longrightarrow \quad U=2639 \text{ per cella}$$



Il sistema con le macrocelle può servire 2639*100=263,900 utenti
Mentre il sistema di microcelle può servire 2639*2500=oltre 6 milioni e mezzo di utenti

Evoluzione dell'architettura di rete

Esercizio: implicazioni di tipo economico alla riduzione della cella

Se ogni BS costasse 500,000 Euro qual è il costo del sistema dovuto alle BS?

Macrocelle= $500,000 * 100 = 50$ milioni di Euro

Microcelle= $500,000 * 2500 = 1250$ milioni di Euro

Se gli utenti pagano in entrambi i casi 50 Euro al mese, quali sono i guadagni mensili nei due casi?

Macrocelle= $50 * 263900 = 13,195,000$ Euro

Microcelle= $50 * 6,597,500 = 329,875,000$ Euro

Quando tempo ci vuole per compensare i costi dell'infrastruttura?

Macrocelle= $50,000,000 / 13,195,000 = 3,78$ mesi (oltre 3 mesi)

Microcelle= $1250,000,000 / 329,875,000 = 3,78$ mesi (oltre 3 mesi)



Stesso tempo



Dal punto di vista dell'aumento di capacità e dei guadagni che questo aumento della capacità porta all'operatore, è sicuramente un vantaggio

Evoluzione dell'architettura di rete

Evoluzione dell'architettura delle rete di comunicazione

*Sempre più verso un accesso localizzato
per aumentare l'efficienza spettrale*

Primi sistemi cellulari:

Costi dominati dal costo delle BS (circa 1 milione di dollari l'una), quindi, si preferiva coprire un'intera regione o città con poche BS, poste in edifici alti o montagne e che trasmettevano a potenza elevata per coprire diversi km.

La potenza veniva irradiata in modo omnidirezionale in modo che un mobile che si muove attorno alla BS alla stessa distanza sperimenta la stessa potenza ricevuta media se questa non viene bloccata da ostacoli. La cella è di fatto quindi circolare, rappresentata con una cella esagonale poiché è la migliore approssimazione ad un cerchio per coprire con celle NON sovrapposte un'area.

Evoluzione dell'architettura di rete

Evoluzione dell'architettura delle rete di comunicazione

*Sempre più verso un accesso localizzato
per aumentare l'efficienza spettrale*

Sistemi cellulari odierni:

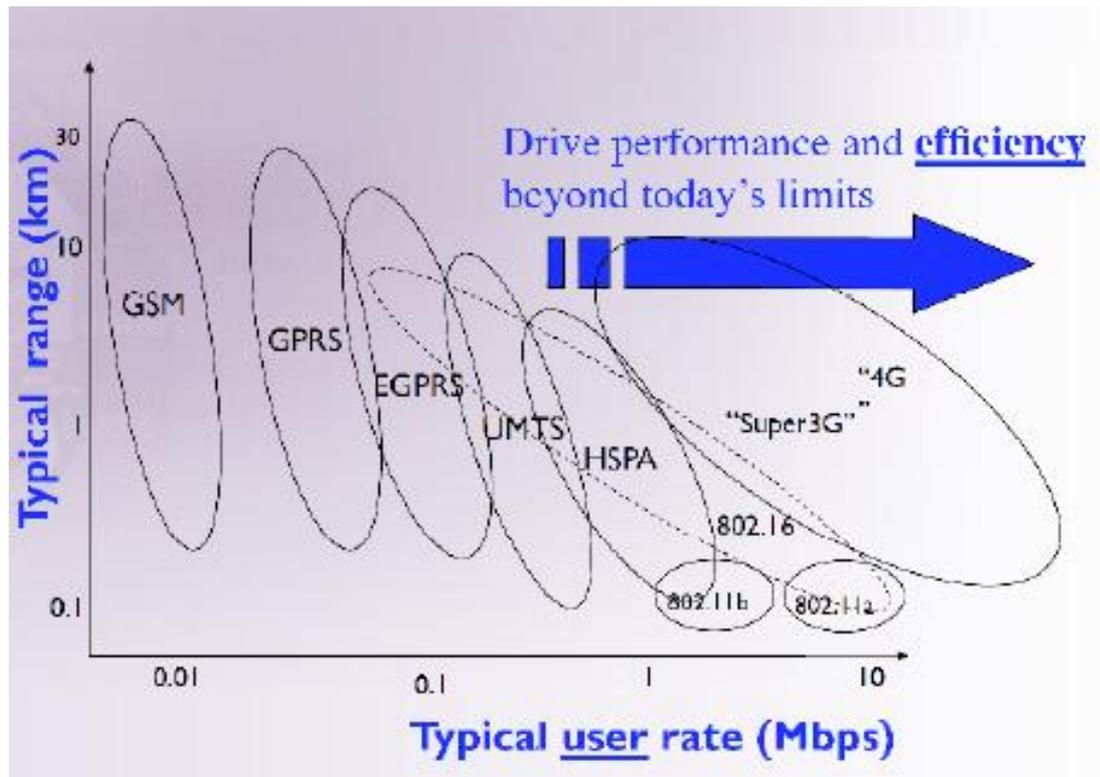
➤ la copertura in area urbana avviene tramite celle molto più piccole con BS molto più piccole, meno costose e poste a livello della strada.

➤ Implicazioni:

- Handover molto più frequente e quindi necessità di procedure di handover più veloci
- Location management più complesso perché il numero di celle è molto maggiore.
- La cella esagonale non è più una buona approssimazione poiché la forma della cella dipende fortemente da dove è posta la BS. Si usano spesso celle quadrate o triangolari

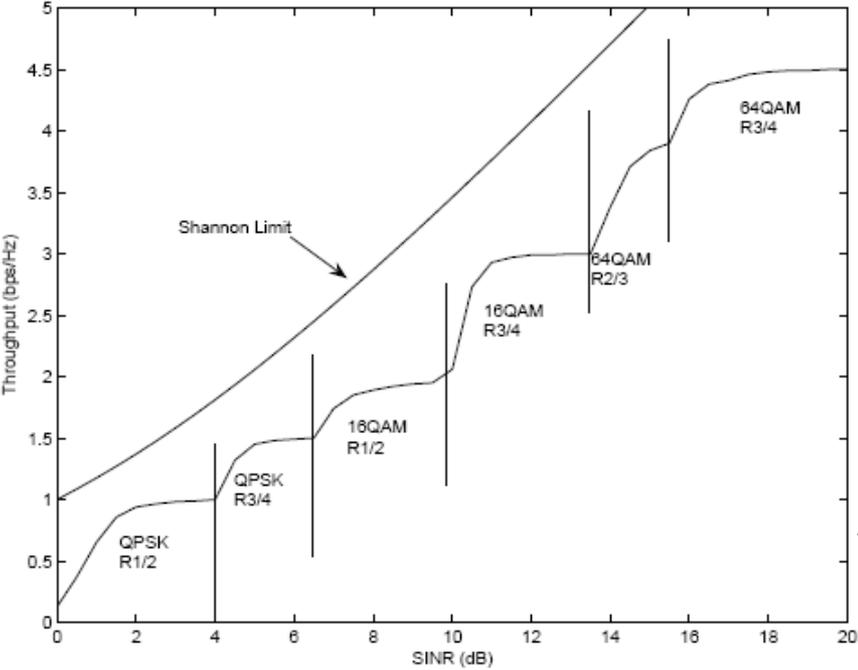
Evoluzione dell'architettura di rete

Sempre più verso un accesso localizzato
per aumentare l'efficienza spettrale



Evoluzione dell'architettura di rete

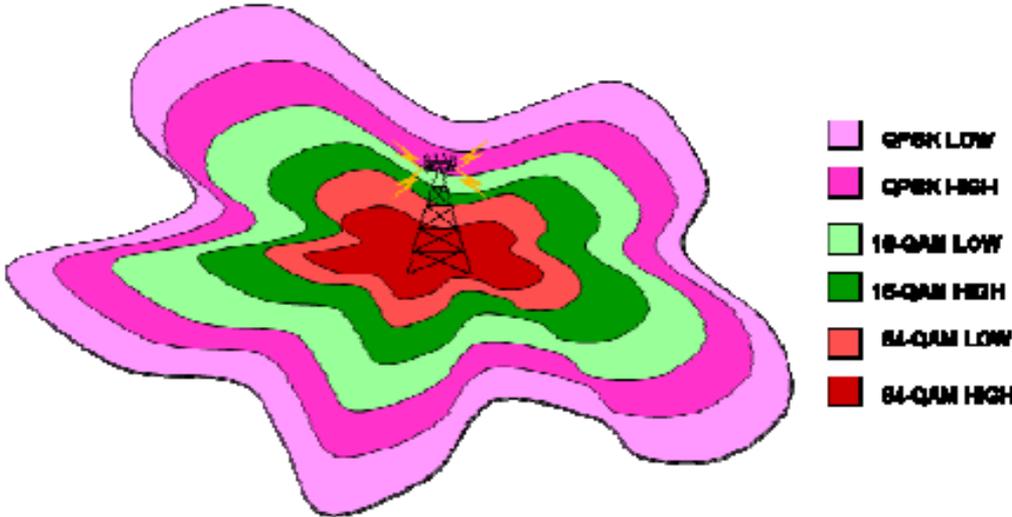
Nota: il comportamento del Wimax, che ha una data rate scalabile con la distanza, si spiega con il fatto che lo standard Wimax prevede l'utilizzo di tecniche di modulazione e codifica adattative (ACM).



Wimax prevede 52 modi operativi (combinazioni modulazione/codifica), dette "burst profile". Gran parte delle implementazioni dello Wimax prevedono solo una frazione di questi modi. Il "burst profile" viene assegnato ad un sottocanale.

Con solo 6 burst profile è già possibile una ampio range di efficienza spettrale

Evoluzione dell'architettura di rete



Source: WTTech

Figura 6 – AMC in presenza di shadowing

Evoluzione dell'architettura di rete

Sempre più verso un accesso localizzato

Un'accesso più localizzato permette di ridurre i consumo di potenza dei sistemi di comunicazione?

Se si guarda solo alla riduzione delle potenza necessaria per la trasmissione, la risposta è si



$L_{dB}(r) = \alpha 10 \log_{10} \frac{4\pi r}{\lambda}$ Attenuazione in funzione della distanza r

- α È il coefficiente di propagazione, dipende dallo specifico ambiente di propagazione radio. Per esempio, in aree urbane è tipicamente 4, in aree suburbane 2
- λ Lunghezza d'onda della portante



Evoluzione dell'architettura di rete

Sempre più verso un accesso localizzato



1) Decadimento della potenza trasmessa proporzionale con la distanza

Esempio: per un sistema cellulare la portante è circa 2GHz
Su una distanza tipica tra torre della BS e terminale mobile di 1.5km, l'attenuazione è di 102dB
Se la distanza fosse 200m, sarebbe di 84dB

(Nota che la stessa distanza di 1.5km su fibra ottica avrebbe una perdita di meno del 25%)

2) Per effetto del decadimento della potenza trasmessa NON lineare con la distanza un approccio **multihop** "potrebbe" comportare una riduzione della potenza consumata

$$L_{lin}(r) = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^\alpha$$

Se per coprire una distanza $r = r_1 + r_2$
Se la copro con un solo collegamento diretto, la potenza di cui ho bisogno per compensare l'attenuazione atmosferica è proporzionale a

$$r^\alpha = (r_1 + r_2)^\alpha \quad \text{se } \alpha = 2 \Rightarrow r^2 = r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2$$

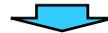
Se lo copro con due "salti", la potenza sul primo salto è proporzionale a r_1^2 e quella per il secondo salto è proporzionale a r_2^2 \implies la potenza complessiva è: $r_1^2 + r_2^2 < (r_1 + r_2)^2$

Evoluzione dell'architettura di rete

Sempre più verso un accesso localizzato

Un'accesso più localizzato permette di ridurre i consumo di potenza dei sistemi di comunicazione?

Tuttavia, per rispondere alla domanda di deve tener conto di altri fattori, oltre alla riduzione della potenza in trasmissione, che possono comportare un aumento complessivo del consumo energetico del sistema
Inoltre, la riduzione dei consumi potrebbe essere totalmente annullata dall'innalzamento di altri costi rendendo la nuova architettura non più interessante dal punto di vista costi-benefici



Esiste un compromesso tra la cosiddetta "deployment efficiency" e l'efficienza in potenza

Compromesso deployment efficiency-efficienza in potenza

Evoluzione dell'architettura di rete

Un'accesso più localizzato in una rete cellulare, permette di ridurre i consumi di potenza dei sistemi di comunicazione?

Deployment efficiency misura il throughput del sistema (bit/s) per unità di costi di "deployment"

Questi costi si dividono in:

Capital expenditure (CapEx)

Costi dell'infrastruttura, come BS, dispositivi di trasmissione della dorsale, installazione dei siti, dispositivi Radio Network Controller (RNC)

Operational expenditure (OpEx)

bolletta elettrica, affitto del sito e della dorsale, costi di manutenzione e funzionamento.

Evoluzione dell'architettura di rete

Un'accesso più localizzato in una rete cellulare, permette di ridurre i consumo di potenza dei sistemi di comunicazione?

Alcuni costi di dispiegamento della rete si riducono proporzionalmente con la riduzione delle dimensioni della cella, per esempio:

- la potenza in trasmissione e quindi il costo associato al consumo energetico si riduce,
- il costo delle BS tipicamente si riduce perché per servire celle più piccole si possono usare BS più piccole (attenzione, celle più piccole in genere non significa un numero di utenti minore, ma può significarlo quando si parla di femtocelle o picocelle)



- Se si considerassero solo questi, ridurre la dimensione delle celle sicuramente ridurrebbe i consumi e anche i deployment costs

TUTTAVIA



Evoluzione dell'architettura di rete

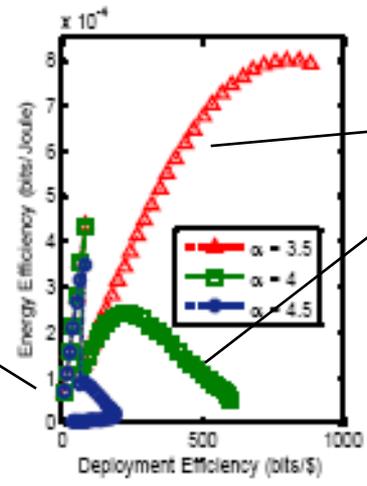
Un'accesso più localizzato in una rete cellulare, permette di ridurre i consumo di potenza dei sistemi di comunicazione?

Tuttavia, se si considera che alcuni deployment costs non sono scalabili con le dimensioni della cella (per es., quelli dell'affitto delle location d'installazione delle BS) e che alcune componenti del consumo energetico sono non dipendenti dalla potenza trasmessa (per es., i consumi necessari per raffreddare la BS)

In area urbana, innanzitutto, esiste un ottimo, ma per valori molto bassi della DE, e quindi, per celle comunque piuttosto piccole. Dopo quell'ottimo, il valore di EE decresce drasticamente



In area urbana, mi conviene fare celle piccole



In area suburbana EE e DE crescono insieme fino ad un punto di ottimo



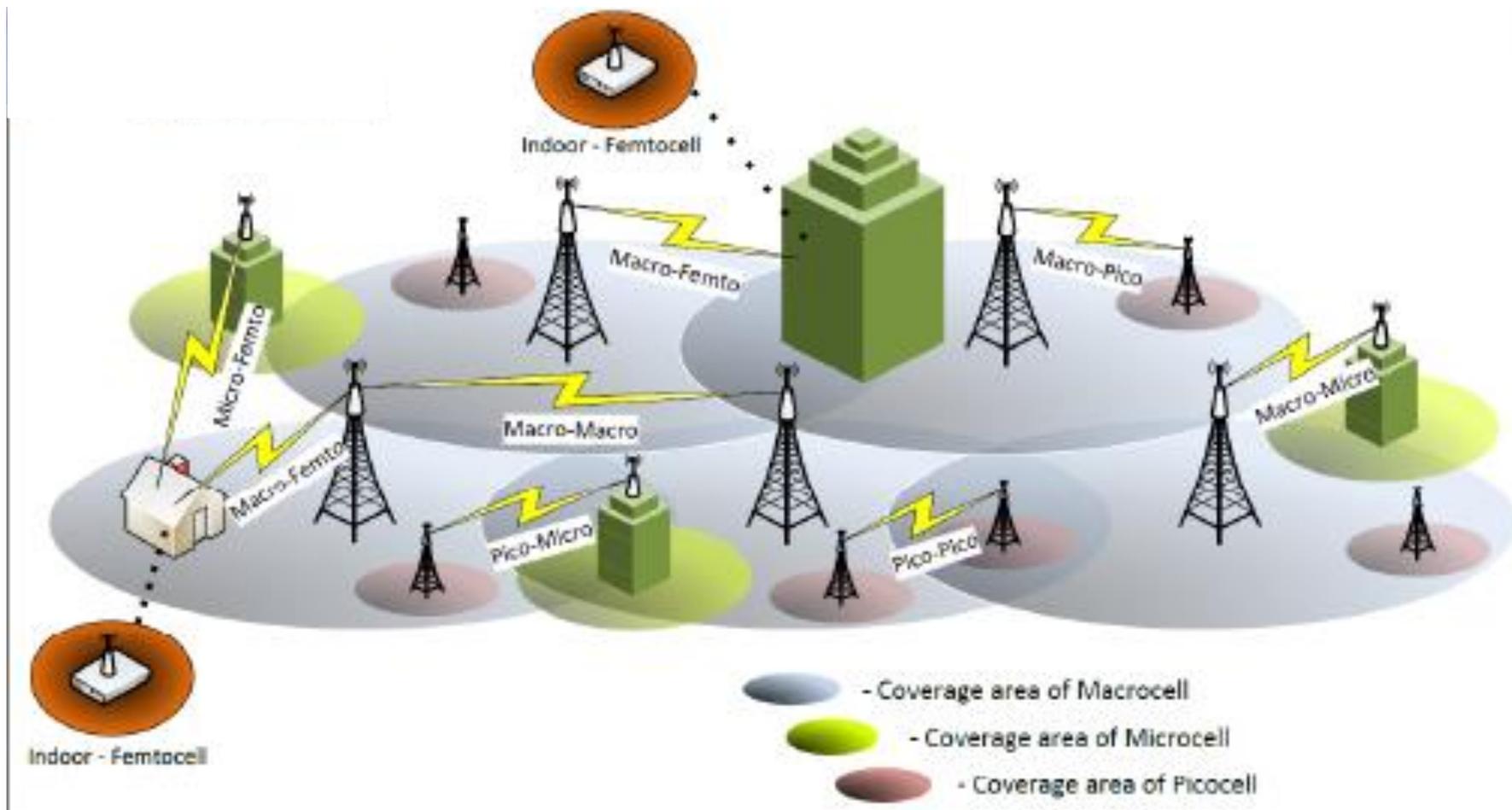
In area suburbana, mi conviene fare celle grandi



Un approccio "misto", attraverso una rete eterogenea è la soluzione migliore

Evoluzione dell'architettura di rete

Rete eterogenea



Evoluzione dell'architettura di rete

Rete eterogenea

- Una micro-picocella è una cella servita da una BS che copre un'area piccola con alta densità di traffico, come un centro commerciale, aree residenziali, un hotel o una stazione dei treni
- Range tipico di una micro/pico cella è dell'ordine di poche centinaia di metri
- E' stato dimostrato in [1] che l'uso congiunto di macrocelle e picocelle in area residenziali può ridurre il consumo energetico fino al 60%
- Altri lavori [2], invece mostrano come la riduzione della potenza trasmessa sia totalmente compensata dai consumi aumentati dovuti al maggior numero di BSs. Tuttavia, si deve tener presente, che con la copertura a picocelle, il numero di utenti per cella è molto minore e può succedere che alcune picocelle rimangano senza utenti per alcuni intervalli di tempo, rendendo efficiente l'uso di tecniche basate sullo spegnimento e messa in idle delle BSs.

[1] H. Claussen, L. T. W. Ho, F. Pivit, Effects of joint macrocell and residential picocell deployment on the network energy efficiency, IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) 2008, pp. 1-6, 15-18 Sept. 2008.

[2] B. Badic, T. O'Farrell, P. Loskot, J. He, Energy Efficient Radio Access Architectures for Green Radio: Large versus Small Cell Size Deployment, IEEE Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 20-23 Sept. 2009.

Evoluzione dell'architettura di rete

Rete eterogenea

- Il raggio delle femtocelle è di pochi metri
- Copertura tipicamente indoor, case private, uffici
- La potenza trasmessa dal PA è di 100mW con una potenza assorbita della BS di 5W rispetto a i quasi 5KW assorbiti da una BS di una macrocella
- Costi della BS e costi d'installazione molto bassi



**Sicuramente sono caratterizzate da un buon compromesso
deployment efficiency-efficienza in potenza**