

Capitolo 9

Risultati delle simulazioni GPRS

In questo capitolo vengono presentati ed analizzati i risultati delle simulazioni condotte sul sistema GPRS. La descrizione sarà articolata in diversi paragrafi per evidenziare il comportamento del sistema al variare dello scenario considerato.

9.1 Caratteristiche generali

L'itinerario seguito prevede una prima serie di simulazioni introduttive che hanno lo scopo di delineare il comportamento del sistema nei suoi aspetti generali; successivamente un secondo gruppo di simulazioni permetterà di analizzare le prestazioni in uno scenario caratterizzato dalla presenza simultanea di traffico GSM e traffico GPRS. Queste prove risultano importanti per studiare l'interazione tra i due sistemi nel caso in cui vengano utilizzati gli stessi canali a livello fisico. La condivisione delle risorse tra GPRS e GSM trova applicazione pratica nel momento in cui i gestori di rete non prevedano un'allocazione di risorse dedicata per il GPRS ma preferiscano, invece, sfruttare il *context-switching* tipico di queste due architetture.

L'ultima serie di simulazioni prevede l'utilizzo di risorse dedicate esclusivamente al sistema GPRS: in questo caso si sono verificate le capacità di multiplocazione di vari utenti ed il comportamento del sistema a seconda della quantità di risorse allocate.

I parametri prestazionali che si sono tenuti in considerazione nelle prove sono stati:

- **Ritardo di trasferimento di livello MAC:** indica il ritardo con cui un

blocco radio viene trasferito tra le pari entità di livello MAC. Il ritardo viene calcolato a partire dall'istante in cui il blocco, in trasmissione, viene passato dal RLC al MAC (mediante la primitiva MAC_DATA_req) fino all'istante in cui lo stesso blocco, in ricezione, viene consegnato al livello RLC (mediante la primitiva MAC_DATA_ind). Dato che, nelle sorgenti di traffico utilizzate, l'insieme dei blocchi in cui è stato segmentato un pacchetto LLC viene passato al livello MAC nella stessa trama, il ritardo di trasferimento coincide con la metà del valore medio di quello di un pacchetto LLC (nel caso in cui il ritardo dovuto alla bufferizzazione sia trascurabile).

- **Ritardo d'accesso alla rete:** rappresenta il tempo necessario ad un determinato utente per ottenere un riscontro da parte della rete in seguito all'invio di una richiesta di accesso effettuata sul PRACH. Questa statistica dipende dal numero di utenti presenti nel sistema e risente delle collisioni che possono avvenire sull'interfaccia radio tra le trasmissioni di diversi terminali.
- **Probabilità di blocco nell'instaurazione di un TBF:** rappresenta la probabilità che una richiesta di accesso alla rete, per un flusso dati GPRS, sia rifiutata per mancanza di risorse. Questa statistica non comprende l'interruzione di un TBF dovuto all'arrivo di una chiamata GSM.
- **Throughput di sessione:** rappresenta il throughput con cui sono stati trasferiti i pacchetti LLC all'interno del tempo di ON determinato dalla sorgente di traffico. Questa statistica viene calcolata come il numero dei blocchi ricevuto dal MAC di pari livello all'interno del tempo di ON.
- **Throughput di pacchetto:** rappresenta il throughput con cui viene trasferito il singolo pacchetto LLC. A discapito di un piccola approssimazione si può pensare che un pacchetto LLC corrisponda ad un pacchetto IP. Questa statistica rappresenta il tempo che intercorre tra la ricezione del primo e dell'ultimo blocco della serie in cui è stato segmentato il pacchetto LLC. Sono stati considerati validi soltanto i pacchetti che sono giunti in ricezione senza aver subito perdite dovute ad un'eccessiva bufferizzazione dei blocchi di livello MAC.

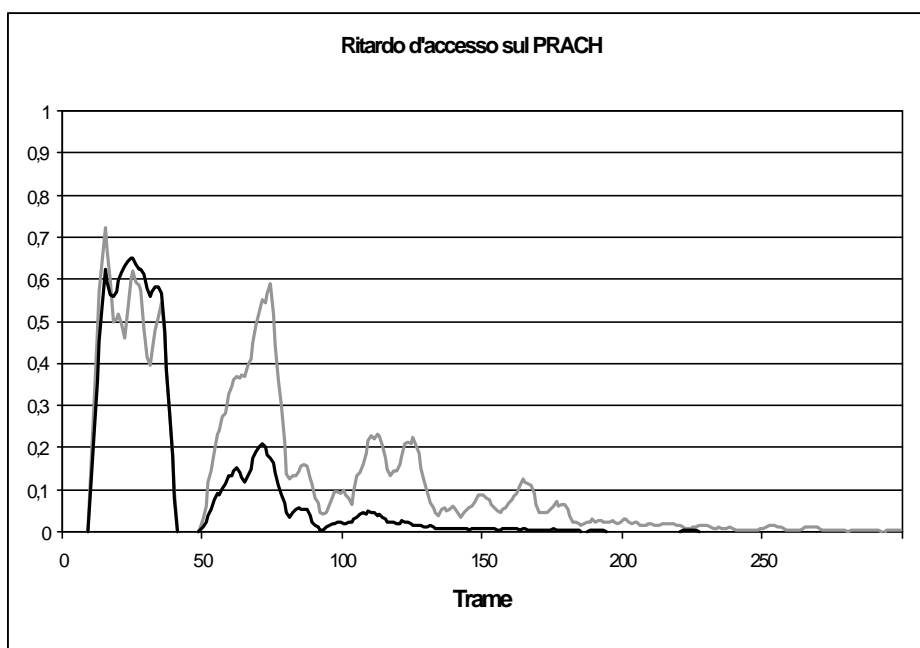


Figura 9.1: Caratteristica dei tempi di accesso sul PRACH

9.2 Comportamento del sistema

Le simulazioni che sono presentate in questo paragrafo hanno lo scopo di delineare il comportamento del sistema GPRS; i grafici ottenuti non vogliono, dunque, fornire informazioni prestazionali ma vogliono indicare la reazione del sistema ad un particolare traffico d'utente. Per questo motivo non vengono qui riportati i parametri della simulazione.

9.2.1 Uplink

Lo scopo di questo paragrafo è di fornire un'indicazione del comportamento della tratta in uplink.

La figura 9.1 mostra la distribuzione dei tempi con cui i mobili riescono ad ottenere l'accesso al canale comune PRACH nel caso in cui vi sia un diverso numero di utenti nel sistema. Come si può vedere, vi è la presenza di alcuni blocchi compatti di richieste che indicano il diverso numero di tentativi di ritrasmissione effettuati dai mobili prima di riuscire ad ottenere un riscontro positivo dalla rete. L'intervallo temporale che separa i vari tentativi e la larghezza del supporto di ognuno di essi dipende dai parametri di sistema S e TX_INT (par. 3.2) che regolano i tempi di accesso su questo canale e che possono essere configurati dai gestori della rete per ottenere le prestazioni desiderate.

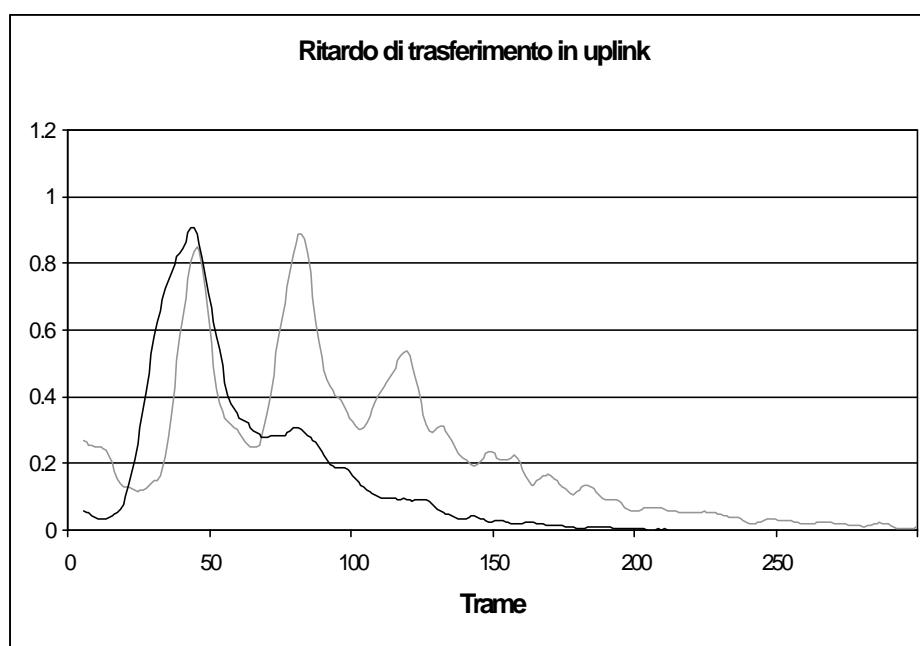


Figura 9.2: Caratteristica del tempo di trasferimento di un blocco di livello MAC in uplink

La distribuzione dei tentativi dipende anche dalla particolare disposizione dei blocchi riservati al PRACH ed al PAGCH all'interno di una multitrama di traffico. Nel caso in esame sono stati utilizzati 4 blocchi PRACH (uno ogni 13 trame) e 2 PAGCH (uno ogni 26 trame). Il primo raggruppamento visibile all'interno del grafico corrisponde alle richieste dei terminali mobili che hanno ricevuto un riscontro positivo da parte della rete in seguito al primo tentativo, il quale viene effettuato nella prima occorrenza di un blocco PRACH disponibile. Il supporto di questo primo raggruppamento è pari a 26 trame, poiché tale è l'intervallo temporale che separa due blocchi PAGCH consecutivi. Il tempo minimo necessario per ottenere una risposta dalla rete in seguito ad una richiesta è determinato dalla distanza minima tra un blocco PRACH e uno PAGCH: con la disposizione precedentemente descritta, questa distanza temporale è pari a 13 trame. Il secondo raggruppamento rappresenta l'insieme delle richieste che hanno ricevuto un riscontro dalla rete soltanto al secondo tentativo e quindi nel caso in cui la prima richiesta non abbia avuto successo e si sia effettuata un'estrazione di variabile casuale in base ai parametri S e TX_INT per il nuovo tentativo. Analogamente il terzo raggruppamento identifica un accesso dopo la terza richiesta e così per tutti i tentativi successivi.

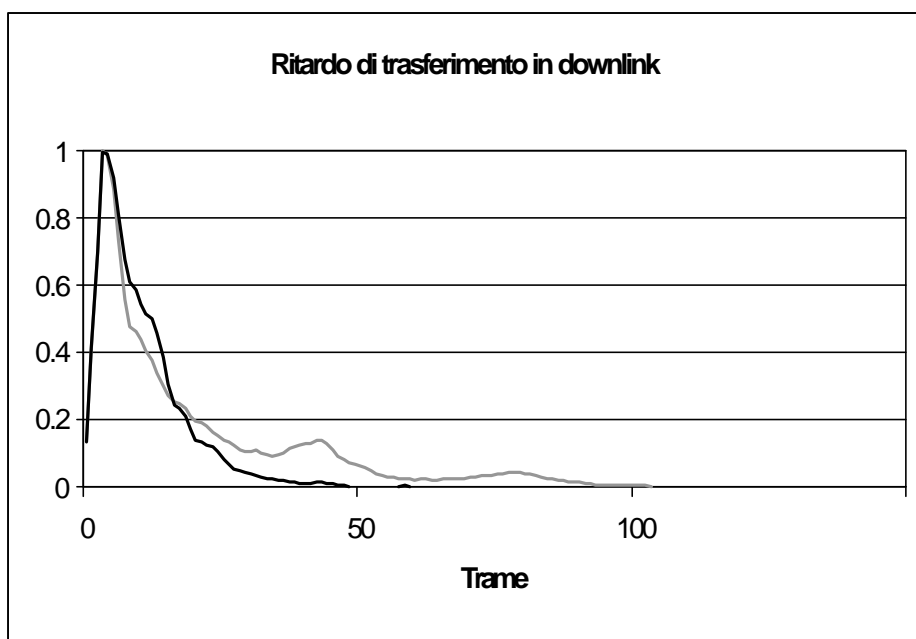


Figura 9.3: Caratteristica del tempo di trasferimento di un blocco di livello MAC in downlink

All'aumentare del numero degli utenti, cresce anche il numero delle richieste andate a buon fine nei tentativi successivi al primo, poiché la probabilità di collisione tra le trasmissioni dei vari mobili è maggiore.

La fig. 9.2 mostra l'andamento dei ritardi con cui vengono trasferiti in uplink i vari blocchi di livello MAC al variare del numero di utenti presenti nel sistema. Questa curva dipende dal particolare algoritmo di schedulazione e dal tipo di allocazione utilizzati. Il grafico è stato ottenuto con una schedulazione di tipo *Round Robin*. Il tempo minimo di trasferimento di un blocco risulta essere diverso da quattro trame (1 blocco radio) poiché, questa statistica risente del tempo di accesso e quindi anche in condizioni di rete scarica è necessario attendere il tempo utile all'instaurazione del TBF. Come si può vedere, all'aumentare del numero dei mobili cresce anche il ritardo con cui vengono trasferiti i blocchi, poiché l'accesso al canale in uplink richiede più tempo. I punti di massimo presenti nella curva relativa ad un numero di utenti maggiore dipendono dai tempi con cui gli utenti ottengono l'assegnazione delle risorse, infatti tale andamento è dovuto ai raggruppamenti precedentemente descritti per la figura 9.1.

9.2.2 Downlink

La figura 9.3 mostra la distribuzione del tempo di trasferimento di un blocco di

livello MAC nella tratta in downlink in presenza di un diverso numero di utenti. Diversamente da quanto riportato in figura 9.2, in questa situazione il tempo minimo di trasferimento in downlink risulta essere inferiore a quello in uplink, poiché non è presente la fase di accesso che i terminali devono attraversare prima di poter trasmettere dati. Il tipo di allocazione e di schedulazione sono identici a quelli utilizzati per ottenere il grafico in uplink e come si può vedere, in presenza di un maggiore numero di utenti vi sono più mobili che impiegano più tempo a trasferire i blocchi di livello MAC. Non risentendo del tempo di accesso alla rete, l'analisi di questo tipo di grafico è utile nel caso in cui si vogliano studiare in modo dettagliato le prestazioni del solo algoritmo di schedulazione.

9.3 Condivisione delle risorse tra GSM e GPRS

La condivisione dei canali fisici (PDCH) fra le architetture GPRS e GSM è uno degli obiettivi posti nel percorso di standardizzazione seguito dall'ETSI. Questa scelta porta a vedere l'architettura GPRS come un servizio a valore aggiunto fornito dall'attuale rete GSM. Lo scopo di questo paragrafo è quello di valutare le prestazioni ottenibili per il traffico dati nel caso in cui non vi sia un'allocazione delle risorse ad uso esclusivo del GPRS. Lo scenario di simulazione prevede sorgenti di traffico voce GSM di tipo ON-OFF che simulano il carico a circuito offerto dagli utenti. Nelle simulazioni il traffico voce ha priorità maggiore rispetto a quello dati: nel caso in cui le risorse di sistema siano tutte occupate dal GPRS e dal GSM, questa decisione porta ad una segnalazione esplicita di rilascio del canale agli utenti GPRS che hanno risorse allocate su di un PDCH (mediante la primitiva PACKET PDCH RELEASE) e ad un'assegnazione di tale PDCH alla chiamata GSM. Il PDCH ritorna ad essere disponibile per le sorgenti GPRS nel momento in cui la chiamata voce termina. Il tipo di allocazione prevede che tutti i canali possano essere disponibili per il cambio di contesto tra GSM e GPRS senza porre vincoli sul numero di PDCH da assegnare in modo statico alla voce ed ai dati. Il traffico dati può occupare tutte le risorse lasciate libere dal traffico a circuito e il massimo numero di PDCH utilizzabili nella stessa trama si basa sulla multislot class del terminale mobile che effettua la richiesta. Nelle simulazioni descritte in questo paragrafo si suppone una multislot class di valore tale da permettere un'allocazione delle risorse su tutti i PDCH lasciati liberi dalle sorgenti di traffico voce.

Sorgenti Voce	
Tipologia	ON/OFF
Durata dei tempi di ON e OFF	Esponenziale negativa
Numero sorgenti per cella	100
Durata media chiamata ($1/\mu$)	120 s
Tempo di interarrivo medio fra due chiamate ($1/\lambda$)	$\lambda / \mu = M$ $M = 2, 3, \dots, 8$
Sorgenti Dati	
Tipologia	ON/OFF
Durata dei tempi di ON e OFF	Esponenziale negativa
Scenario di simulazione	
Numero di BTS	16
Distanza BTS	6 km
Dimensione pixel/raggio cella	0.5
Parametri di sistema	
PDCH segnalazione	1
PDCH dati - voce combinati	7
Allocazione	Dinamica
Schedulazione	Round-Robin
Tipologia priorità voce su dati	Preemption nel blocco successivo
Priorità traffico dati	1
Multislot class	29
Codifica dati	CS3
MAX_RETRANS[Priorità]	3 tentativi
PERSISTENCE_LEVEL[Priorità]	1
TX_INT	6 trame
S	12 trame
BS_PCCCH_BLKs	2 blocchi
BS_PAG_BLKs_RES	2 blocchi
BS_PRACH_BLKs	4 blocchi
T3168	0.5 s
T3172	5 s
T3192	0.5 s

Tabella 9.1: Parametri per le simulazioni GSM-GPRS

Sorgenti di traffico GPRS		
Tipologia	ON/OFF	
Numero di sorgenti per cella	4	
Bit rate di picco 6.4 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	10
Bit rate di picco 11.2 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	15 con probabilità 0.5
		20 con probabilità 0.5
Bit rate di picco 19.2 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	30

Tabella 9.2: Parametri di traffico per le sorgenti GPRS

Questa decisione è stata presa per permettere il confronto fra i risultati ottenuti dal simulatore e quelli ricavati mediante un modello teorico sviluppato al Politecnico di Torino. Nel caso in cui una chiamata voce, in seguito ad una richiesta, necessiti delle risorse occupate dal traffico GPRS, il cambio di contesto avviene al termine del blocco dati in cui è avvenuta la richiesta GSM per permettere ai mobili di terminare la trasmissione del blocco dati corrente e di ricevere la segnalazione di rilascio. Per il traffico GPRS è stata utilizzata la schedulazione dinamica delle risorse basata su di un algoritmo di tipo *Round-Robin*.

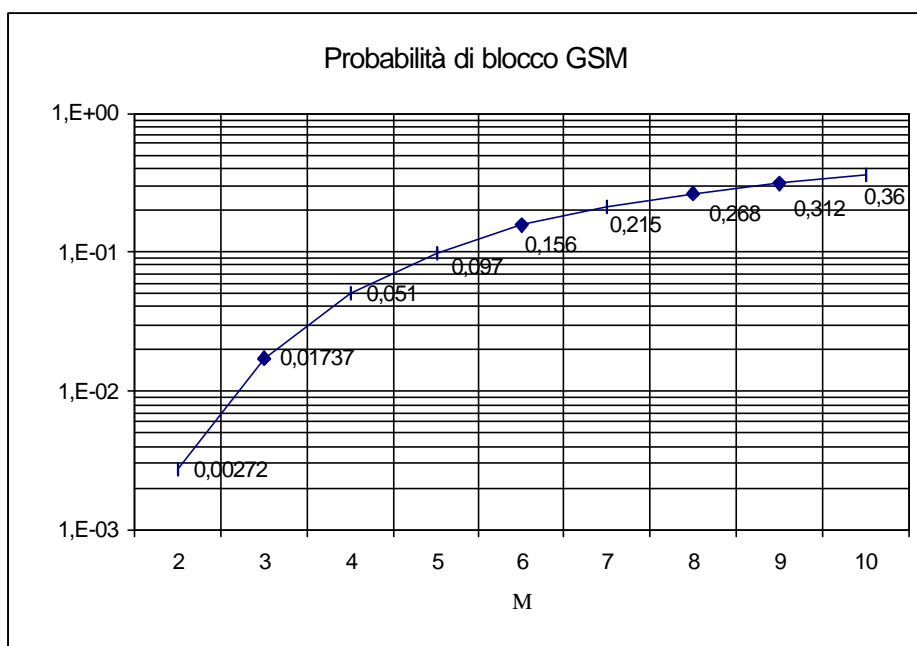


Figura 9.4: Probabilità di blocco delle chiamate voce GSM al variare del carico offerto

La scelta di quale utente è abilitato a trasmettere in un determinato blocco radio viene gestita in base al tempo intercorso dall'ultima trasmissione del mobile. I parametri e le sorgenti di traffico utilizzati per queste simulazioni sono presentati nelle tabelle 9.1 e 9.2; eventuali differenze ed integrazioni verranno indicate esplicitamente.

La curva di probabilità di blocco ottenuta dalle simulazioni sul traffico voce è presentata in figura 9.4. Tale curva è valida sia per le simulazioni in uplink che in downlink e non risente del numero di sorgenti GPRS, né del carico che queste offrono, visto che il traffico voce ha priorità su quello dati. Questa curva, dunque, è tenuta come riferimento per le simulazioni che prevedono un'interazione tra GPRS e GSM.

Le simulazioni sono state effettuate, per il traffico GPRS, utilizzando l'allocazione su tutti i PDCH disponibili al momento della richiesta al variare del carico offerto dagli utenti alla rete.

9.3.1 Uplink

Questo paragrafo descrive i risultati ottenuti nella condivisione delle risorse fra GPRS e GSM nel caso in cui i mobili siano impegnati in trasmissioni dati in uplink.

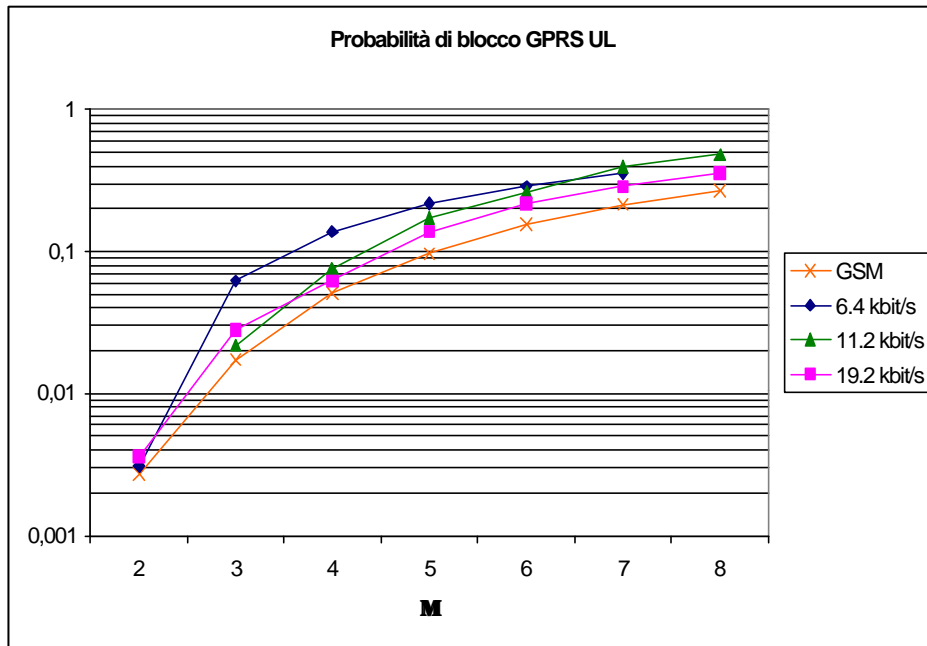


Figura 9.5: Probabilità di blocco GSM e GPRS in uplink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

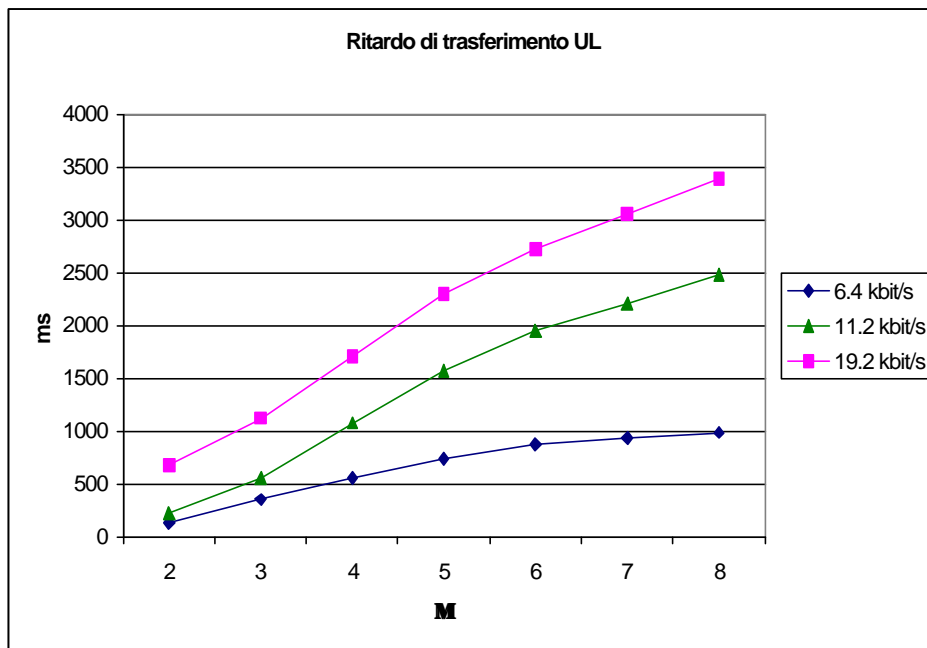


Figura 9.6: Ritardo di trasferimento di un blocco di livello MAC in uplink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

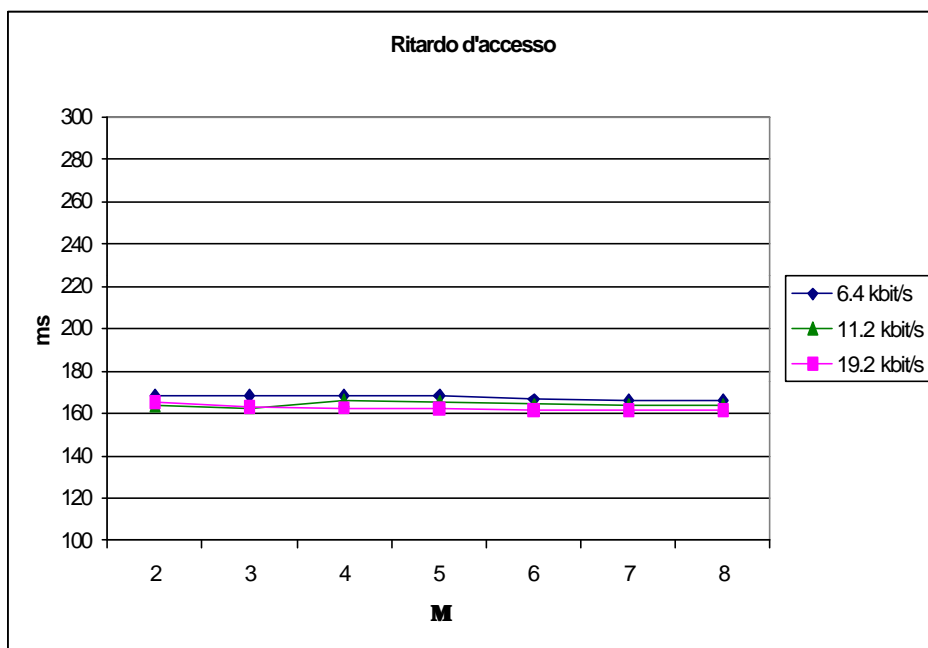


Figura 9.7: Ritardo di accesso alla rete sul canale PRACH in uplink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

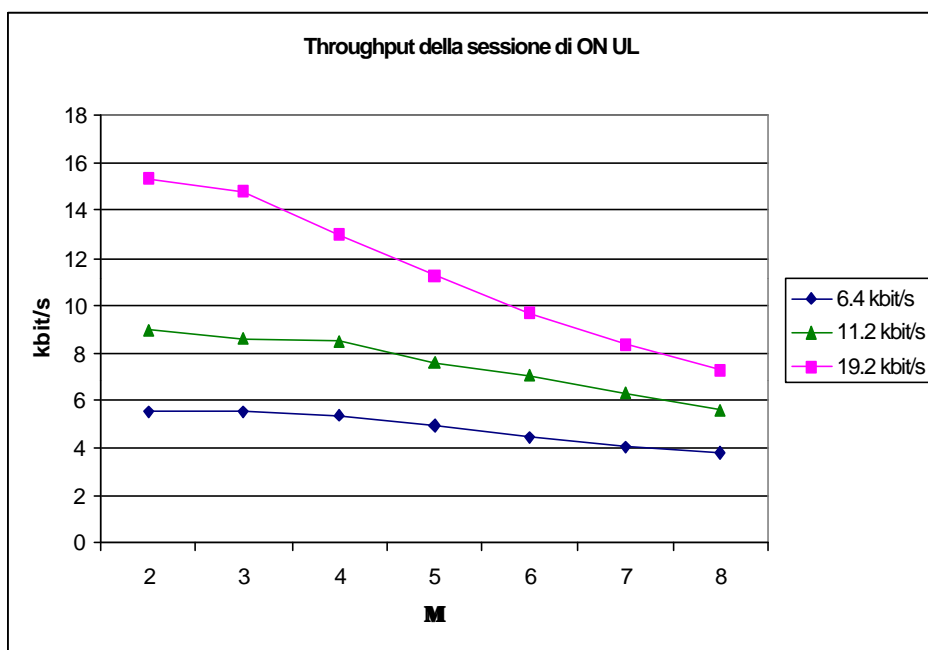


Figura 9.8: Throughput di sessione in uplink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

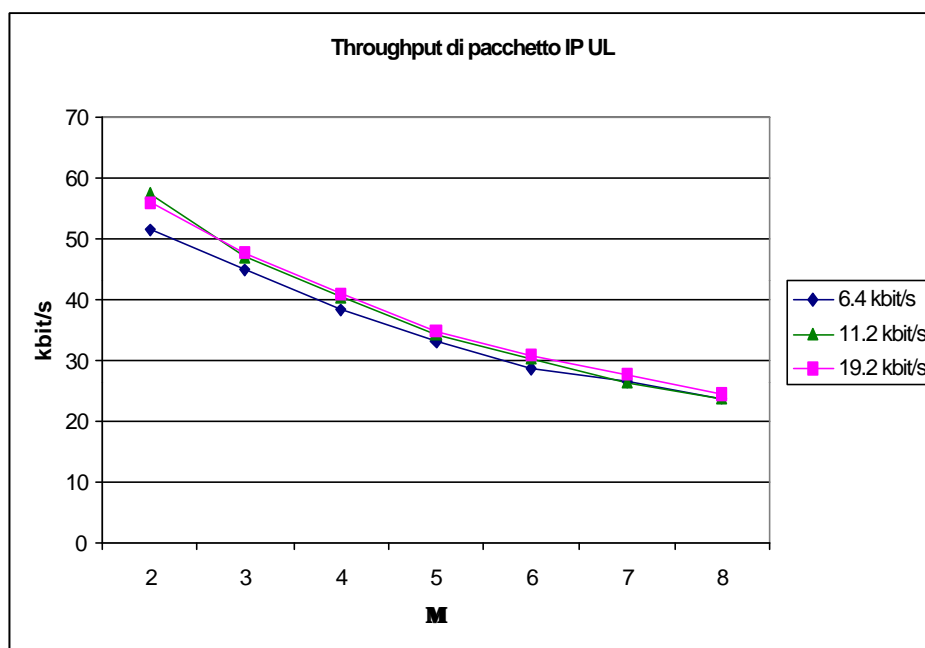


Figura 9.9: Throughput di pacchetto IP in uplink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

La figura 9.5 mostra le curve di probabilità di blocco ottenute al variare del carico GSM offerto e del tipo di sorgente dati GPRS utilizzata. Queste curve vengono confrontate con quella che descrive la probabilità di blocco delle chiamate voce GSM. Come si può vedere, per tutti i tipi di sorgente utilizzati le curve GPRS si trovano sempre al di sopra di quella GSM. Al crescere del *bit rate* della sorgente utilizzato, le curve GPRS si trovano sempre più vicine a quella GSM, poiché generando una maggior quantità di traffico e grazie alla procedura d'accesso, le risorse vengono mantenute più a lungo da uno stesso utente, avvicinandosi ad un tipo di allocazione a circuito.

La figura 9.6 mostra il ritardo di trasferimento dei blocchi di livello MAC al variare del carico GSM e parametrizzate in base al traffico offerto dagli utenti GPRS, il cui numero è mantenuto costante. Come facilmente prevedibile, incrementando il valore del parametro M si assiste ad un aumento generale del tempo necessario per trasferire un blocco MAC. Il parametro M rappresenta il carico voce offerto al sistema: il suo valore è pari al rapporto tra la durata media di una chiamata e il tempo medio di interarrivo delle chiamate GSM. Per bassi valori di M la rete risulta essere essenzialmente scarica per cui il trasferimento dei blocchi può avvenire con il minimo ritardo ammissibile. Alti valori di M fanno sì che le risorse utilizzabili dagli utenti GPRS siano limitate:

in questo caso i ritardi sono destinati a salire poiché gli utenti hanno a disposizione un numero di PDCH minore; di conseguenza si ottiene un minor numero di radio block trasmessi all'interno della stessa trama da un singolo terminale. L'aumento dei ritardi di trasferimento spiega, inoltre, l'andamento delle curve del throughput di sessione presenti in figura 9.8. Incrementando il carico GSM, infatti, si assiste ad una diminuzione del traffico smaltito all'interno di una sessione di ON delle sorgenti GPRS, poiché risulta minore il numero di blocchi ricevuti. Questo andamento decrescente risulta più marcato per le sorgenti a più alto bit rate, poiché risentono maggiormente della carenza di risorse. Lo stesso fenomeno interessa anche le curve della figura 9.9 che rappresentano il throughput di pacchetto IP.

La figura 9.7 mostra il ritardo d'accesso alla rete. Come si può vedere, a parità di traffico GPRS offerto il ritardo è costante, in quanto il numero dei mobili all'interno del sistema è fisso ed è pari a 4; la probabilità, quindi, che una richiesta di risorse vada incontro ad una collisione non cambia. Invece, il tempo d'accesso varia a seconda del traffico, ma in maniera ridotta, poiché come sarà meglio descritto in 9.4.1.1, il numero di richieste di risorse effettuate da un mobile diminuisce all'aumentare del traffico dati offerto.

9.3.2 Downlink

In questo paragrafo vengono analizzate le prestazioni ottenute sulla tratta radio in downlink nel caso in cui vi sia la presenza contemporanea di traffico GSM e GPRS.

La curva 9.10 mostra le curve di probabilità di blocco GPRS della tratta in downlink confrontate con quella GSM. Anche in questo caso le curve sono posizionate al di sopra di quella GSM, poiché quando i buffer di trasmissione sono vuoti le risorse vengono rilasciate; nel caso in cui sia necessario realizzare un nuovo trasferimento dati, la nuova richiesta di risorse incrementerà la probabilità di non trovare canali liberi. Rispetto alle curve ricavate per l'uplink la probabilità di blocco GPRS risulta essere molto maggiore, in quanto in downlink non è presente la procedura di accesso. Infatti, dato che le sorgenti prevedono l'invio di un pacchetto ogni 0.5 secondi, la procedura di accesso in uplink, può fare in modo che due o più pacchetti consecutivi vengano trasmessi sfruttando un'unica richiesta di risorse.

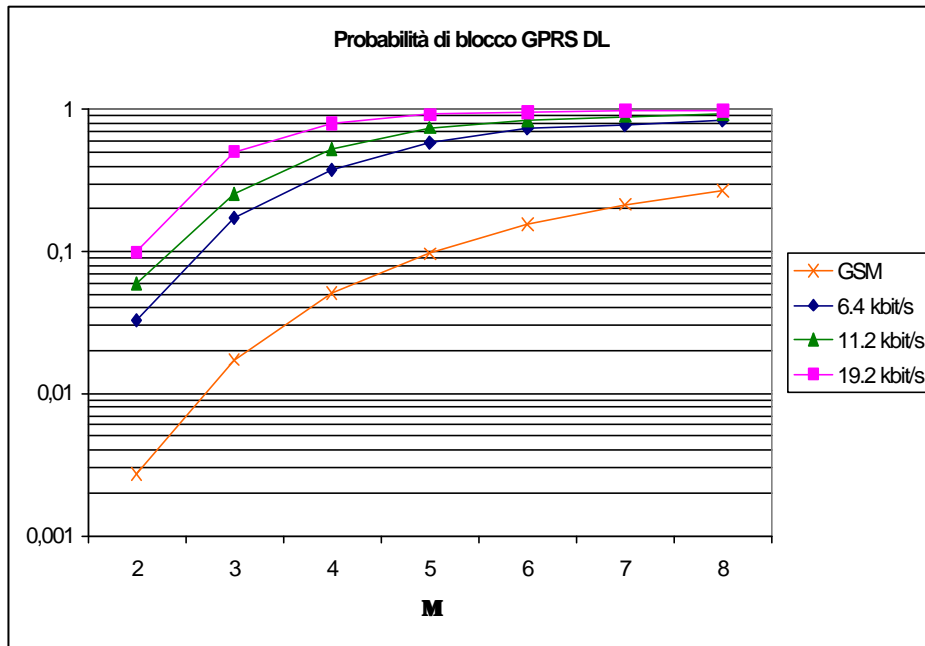


Figura 9.10: Probabilità di blocco GSM e GPRS in downlink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

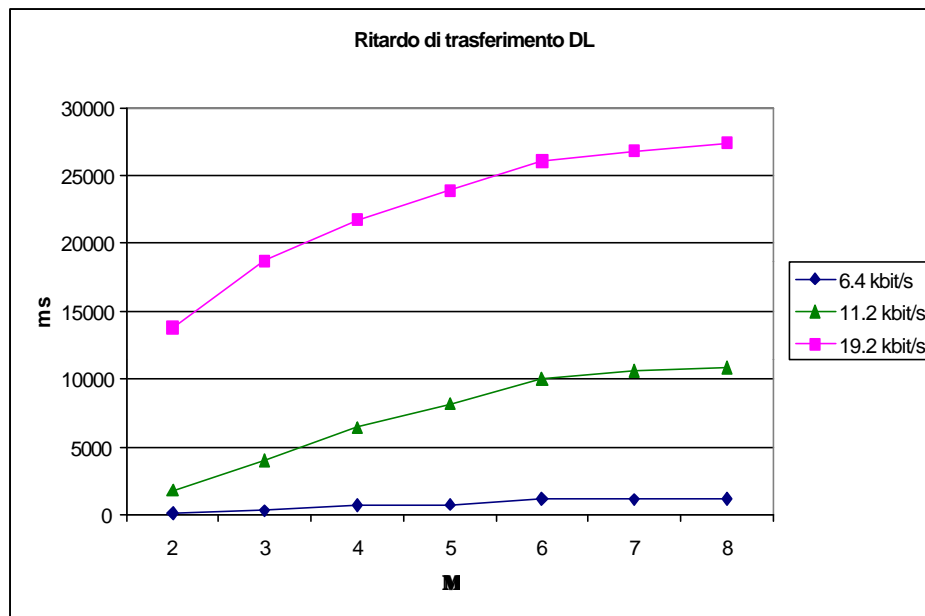


Figura 9.11: Ritardo di trasferimento di un blocco a livello MAC in downlink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

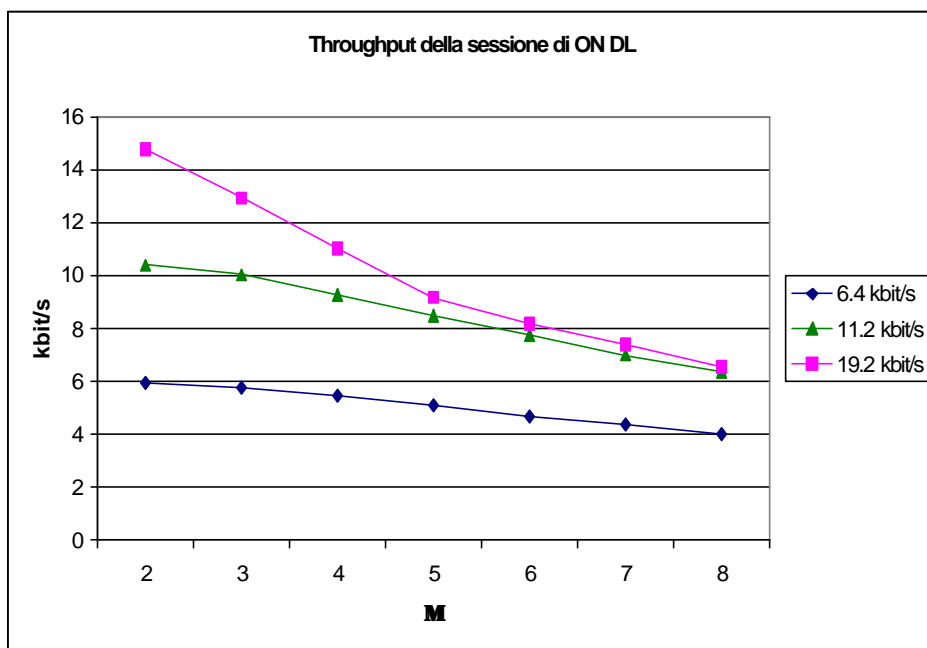


Figura 9.12: Throughput di sessione in downlink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

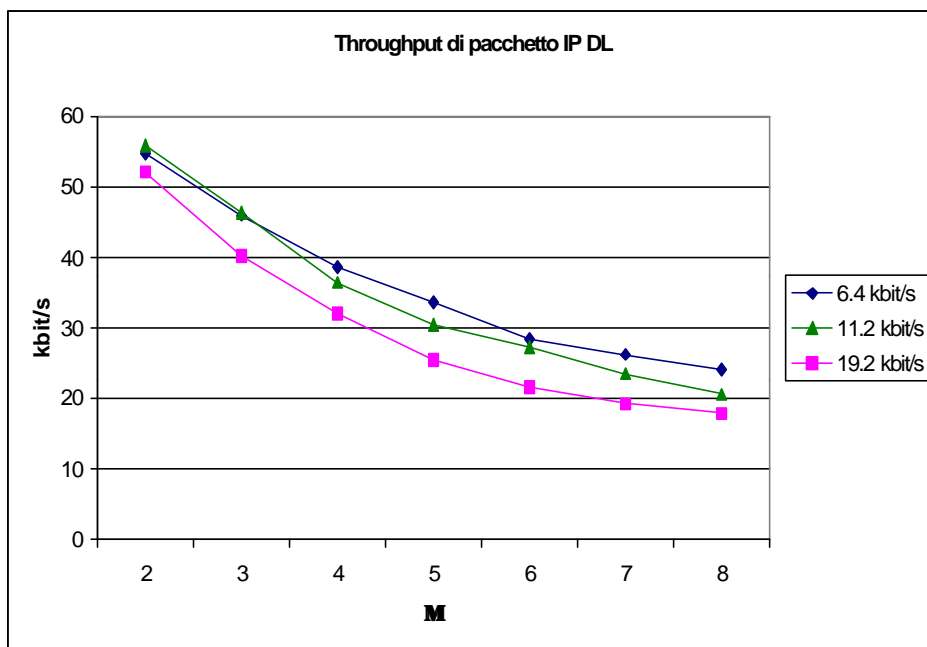


Figura 9.13: Throughput di pacchetto IP in downlink, al variare del carico GSM, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

Questo fenomeno è dovuto alla bufferizzazione dei blocchi: risulta quindi possibile che una richiesta di trasmissione di un pacchetto giunga prima che il MAC abbia inviato tutti i blocchi appartenenti al pacchetto precedente, evitando così di effettuare una nuova richiesta. Per questo motivo, in uplink, effettuando un minor numero di richieste, viene conseguentemente ridotta anche la probabilità di blocco.

Il ritardo di trasferimento in downlink, mostrato in figura 9.11, risulta avere lo stesso andamento di quello in uplink sia per quanto riguarda il tipo di sorgenti GPRS che per il carico GSM offerto. La maggiore differenza risiede nel fatto che i ritardi sono più elevati a causa dell'utilizzo di buffer di trasmissione di dimensione maggiore: questo è dovuto al fatto che aumentando la bufferizzazione incrementa anche il tempo di trasferimento dei blocchi.

Le curve di throughput di sessione e quelle di throughput di pacchetto presentate rispettivamente in figura 9.12 e figura 9.13 ricalcano l'andamento di quelle ricavate per l'uplink senza grandi differenze. Nel caso della figura 9.13 si ottengono valori leggermente inferiori, in quanto in downlink vengono utilizzati buffer di dimensione maggiore, il quale però risulta trascurabile nell'analisi di queste curve.

9.4 Allocazione esclusiva delle risorse a GPRS

Per questo tipo di prova sono state utilizzate soltanto sorgenti di traffico dati GPRS, mentre non sono state considerate quelle voce GSM.

Le curve sono state ottenute al variare del numero di utenti presenti nel sistema ed al variare del traffico offerto da ognuno di essi. Ogni utente, a seconda della simulazione effettuata può utilizzare 1 o 7 PDCH dati. L'allocazione delle risorse è di tipo dinamico, la schedulazione è di tipo *Round-Robin*.

I parametri comuni di questa serie di prove sono riassunti nella tabella 9.3:

9.4.1 Allocazione ridotta

I parametri delle sorgenti di traffico utilizzate per questa prova sono riportati nelle seguente tabella:

Questa serie di simulazioni è stata effettuata avendo a disposizione un solo PDCH dati per il traffico GPRS; tutti gli utenti quindi condividono un solo canale fisico.

Sorgenti Dati	
Tipologia	ON/OFF
Durata dei tempi di ON e OFF	Esponenziale negativa
Scenario di simulazione	
Numero di BTS	1
Distanza BTS	6 km
Dimensione pixel/raggio cella	0.5
Parametri di sistema	
PDCH segnalazione	1
PDCH dati	1 o 7
Allocazione	Dinamica
Schedulazione	Round-Robin
Priorità traffico dati	1
Multislot class	29
Codifica dati	CS3
MAX_RETRANS[Priorità]	3 tentativi
PERSISTENCE_LEVEL[Priorità]	1
TX_INT	6 trame
S	12 trame
BS_PCCCH_BLKs	2 blocchi
BS_PAG_BLKs_RES	2 blocchi
BS_PRACH_BLKs	4 blocchi
T3168	0.5 s
T3172	5 s
T3192	0.5 s

Tabella 9.3: parametri per le simulazioni GPRS

Sorgenti di traffico GPRS		
Tipologia	ON/OFF	
Numero di sorgenti per cella	4	
Bit rate di picco 1.9 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	1 con probabilità 0.5
		5 con probabilità 0.5
Bit rate di picco 6.4 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	10
	Bit rate di picco 11.2 kbit/s	Tempo medio ON
Tempo medio OFF		40 s
Tempo interarrivo pacchetti LLC		0.5 s
Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC		15 con probabilità 0.5
		20 con probabilità 0.5
Bit rate di picco 19.2 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	30

Tabella 9.4: Parametri di traffico per le sorgenti GPRS

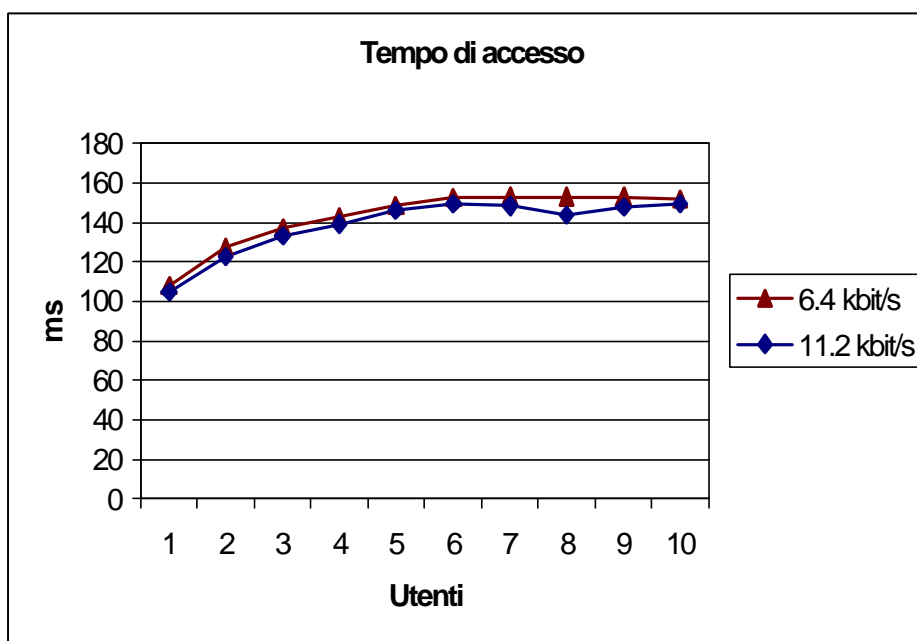


Figura 9.14: Ritardo di accesso alla rete in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

9.4.1.1 Uplink

Mediante le simulazioni che sono presentate in questo paragrafo si vogliono porre in evidenza le prestazioni del sistema in uplink in presenza del solo traffico GPRS. Si è posta particolare attenzione alle tempistiche di accesso alla rete per l'instaurazione di un TBF ed al tempo di trasferimento dei blocchi di livello MAC.

La figura 9.14 mette in evidenza l'andamento del tempo medio necessario ad accedere alla rete al variare del numero di utenti presenti nel sistema. Come si può vedere il ritardo d'accesso aumenta al crescere del numero di utenti, poiché aumenta anche la probabilità di collisione sul PRACH.

In caso di collisione, il mobile non riceve alcun riscontro da parte della rete, quindi effettuerà un nuovo tentativo secondo le proprie tempistiche, portando ad un incremento del tempo di attesa per l'instaurazione di un TBF. Nel grafico sono riportate le curve relative a due diversi tipi di traffico. E' possibile notare come, all'aumentare del traffico offerto, il ritardo d'accesso diminuisca. Questo è dovuto al fatto che la sorgente che genera un carico inferiore, a parità di tempo, inserisce anche un minor numero di blocchi nel buffer limitando la bufferizzazione.

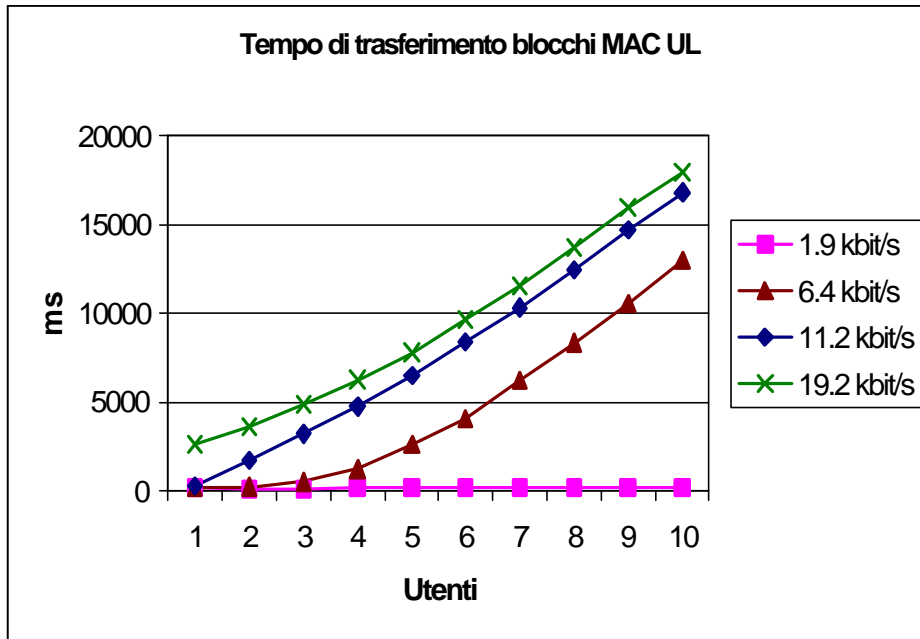


Figura 9.15: Ritardo di trasferimento in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

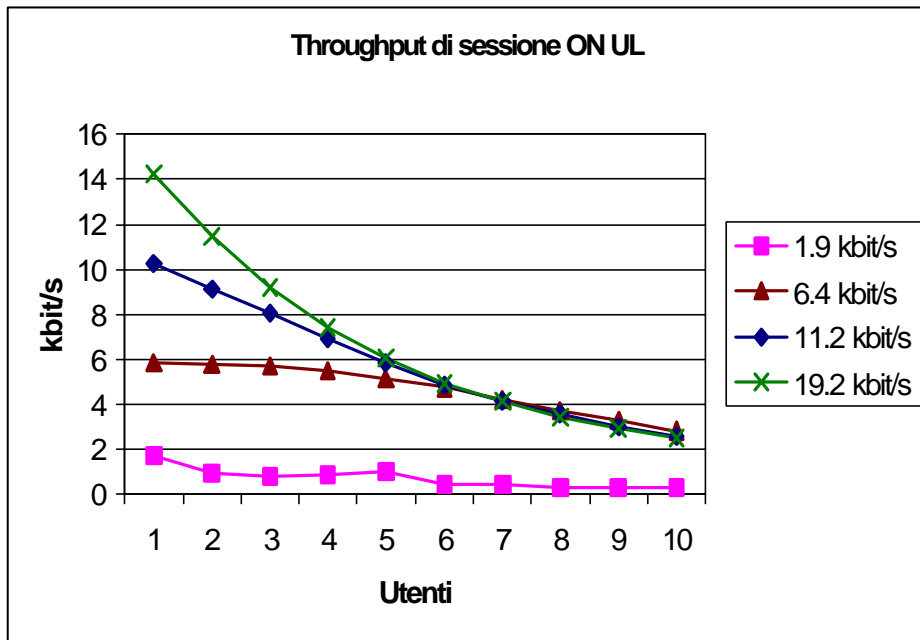


Figura 9.16: Throughput di sessione in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

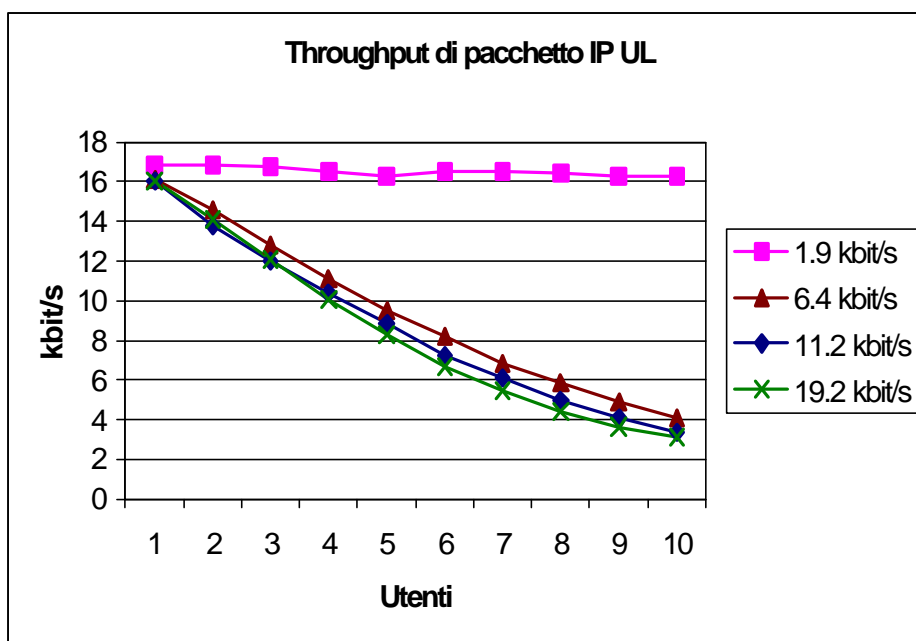


Figure 9.17: Throughput di pacchetto IP in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

Dato che il canale viene rilasciato quando non si hanno più pacchetti nei buffer di trasmissione e visto che all'arrivo di un nuovo blocco è necessario effettuare una nuova procedura di accesso alla rete, la sorgente da 11.2 kbit/s ha una probabilità maggiore rispetto a quella da 6.4 kbit/s di sfruttare il precedente accesso per inviare i blocchi appartenenti ad un nuovo pacchetto LLC. Questo è dovuto al fatto che è presente nel buffer un maggior numero di blocchi MAC e quindi la probabilità di rilasciare il canale prima dell'arrivo di un nuovo pacchetto LLC è minore. Con una sorgente che genera un più alto livello di traffico, quindi, il numero di richieste d'accesso sarà più basso e con esso anche la probabilità di collisione sul PRACH: di conseguenza il ritardo d'accesso risulterà inferiore. La figura 9.15 rappresenta il tempo medio di trasferimento dei blocchi di livello MAC in uplink al variare del numero di utenti presenti nel sistema parametrizzato sul tipo di traffico offerto. Come si può vedere, una volta fissata la sorgente, il ritardo introdotto aumenta con il numero di mobili poiché il solo PDCH utilizzato per il traffico GPRS viene condiviso da tutti gli utenti. Proprio per questo motivo, il throughput di sessione, presentato in figura 9.16, diminuisce all'aumentare del numero di mobili, qualunque sia la sorgente utilizzata.

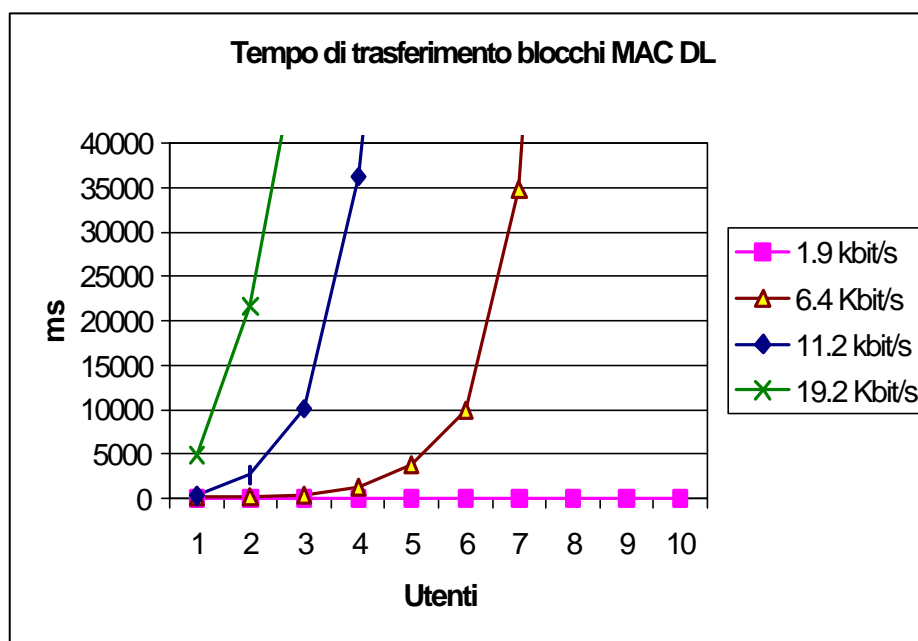


Figura 9.18: Ritardo di trasferimento in downlink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

Mantenendo fisso, invece, il numero di utenti, il ritardo cresce con il bit rate di picco offerto poiché aumenta il numero di blocchi radio memorizzati nei buffer. Il throughput della sessione di ON, nel caso in cui vi sia un solo terminale, si attesta attorno al valore del carico offerto per poi decrescere e raggiungere, per un numero di utenti elevato, un valore molto simile per tutti i tipi di sorgente utilizzati: anche la curva relativa al carico di 1.9 kbit/s, apparentemente scorrelata dalle altre curve, mantiene lo stesso comportamento, ma per un numero di utenti ancora più elevato, poiché il decadimento delle prestazioni è molto meno marcato rispetto a quello delle altre sorgenti.

La figura 9.17 rappresenta il throughput di pacchetto IP in uplink. Tutte le curve seguono lo stesso andamento decrescente all'aumentare del numero di utenti del sistema, in quanto, aumentando il ritardo di trasferimento, cresce il tempo necessario alla ricezione dell'insieme dei blocchi appartenenti ad un unico pacchetto IP. Il throughput decresce più rapidamente con sorgenti elevate, poiché esse sono più sensibili alla carenza di risorse.

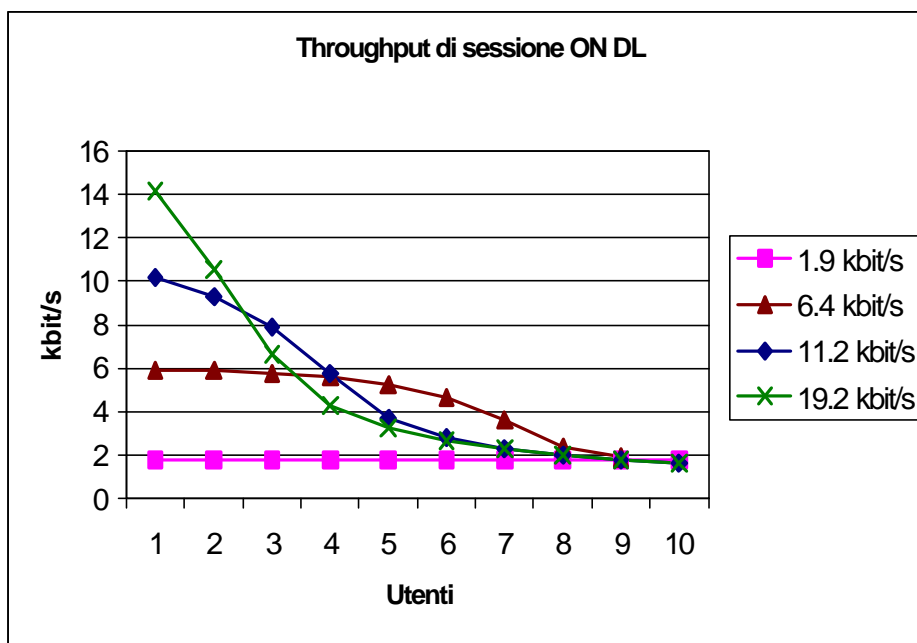


Figura 9.19: Throughput di sessione in downlink, in uplink in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

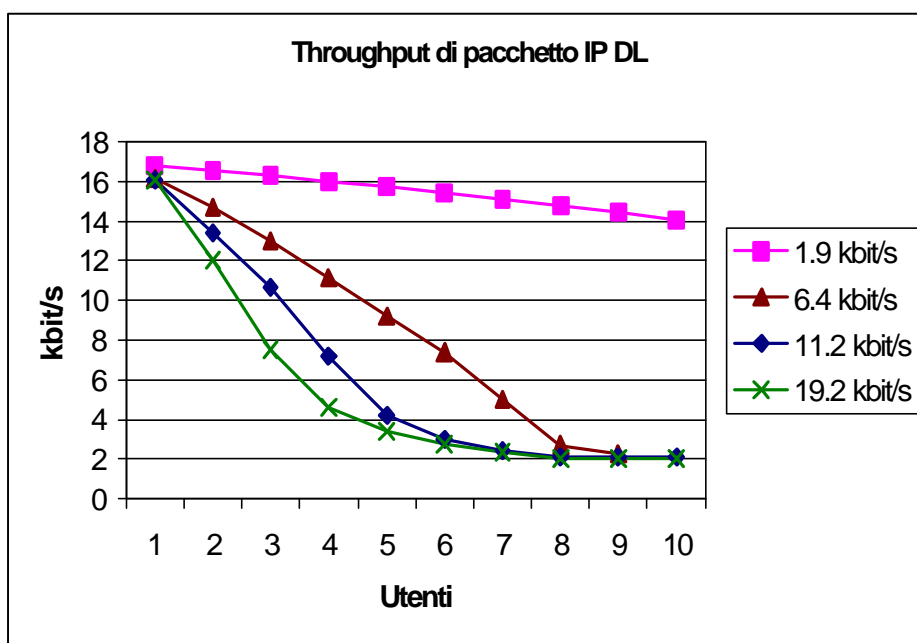


Figure 9.20: Throughput di pacchetto IP in downlink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 1 PDCH

9.4.1.2 Downlink

Le seguenti curve descrivono il comportamento del sistema GPRS in assenza di traffico GSM con allocazione, anche in questo caso, su un solo PDCH nella tratta in downlink.

La figura 9.18 mostra il ritardo di trasferimento dei blocchi di livello MAC in downlink. A parità del numero di utenti e della sorgente di traffico utilizzata, i ritardi risultano essere maggiori di quelli ottenuti nelle simulazioni che riguardano l'uplink, poiché sono stati utilizzati buffer di dimensione maggiore che, memorizzando un maggior numero di blocchi, portano ad un aumento del tempo di trasferimento. In uplink, utilizzando buffer di dimensione inferiore, viene perso un maggior numero di blocchi e non avendo meccanismi di ritrasmissione, i tempi di trasferimento risultano minori. L'andamento delle curve, comunque, rispecchia quello ottenuto in uplink: i ritardi aumentano con il numero di utenti nel sistema e al crescere del bit rate di picco delle sorgenti. Anche la curva relativa al bit rate di 1.9 kbit/s segue questo andamento, ma con un numero di utenti non contemplato nel grafico.

La figura 9.19 rappresenta il throughput della sessione di ON in downlink. L'andamento delle curve è lo stesso per tutti i tipi di sorgente utilizzati, ma le tempistiche sono diverse per ognuna di esse. Come accade per l'uplink, in presenza di un solo utente il throughput corrisponde approssimativamente al carico massimo offerto da ogni singolo utente, in quanto la rete è in grado di smaltire tutti i blocchi che vengono offerti. All'aumentare del numero dei mobili nel sistema il throughput diminuisce tanto più velocemente quanto più alto è il traffico offerto dalla sorgente. Questo dipende dal fatto che in presenza di bit rate minori, è necessario un numero di utenti più elevato per superare la capacità del canale e quindi per diminuire il traffico smaltito. Quanto è stato appena descritto è evidente in particolar modo per la curva relativa al *bit rate* di 6.4 kbit/s. In questo caso il throughput rimane praticamente invariato con due utenti nel sistema, infatti il traffico massimo offerto è pari a $2 \cdot 6.4 = 12.8$ kbit/s che risulta ancora inferiore ai 16 kbit/s che il PDCH è in grado di smaltire con il tipo di codifica CS3. Con tre utenti il throughput inizia a decrescere, infatti il traffico offerto è pari a 19.2 kbit/s, superiore alla capacità del canale. Per un numero di utenti maggiore di otto il throughput rimane pressoché invariato in quanto su di un solo PDCH possono essere multiplati fino a 8 utenti. La curva relativa al traffico offerto di 1.9 kbit/s segue l'andamento descritto, tuttavia la scala del grafico non permette di apprezzare le variazioni.

Sorgenti di traffico GPRS		
Tipologia	ON/OFF	
Numero di sorgenti per cella	4	
Bit rate di picco 11.2 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	15 con probabilità 0.5
20 con probabilità 0.5		
Bit rate di picco 19.2 kbit/s	Tempo medio ON	20 s
	Tempo medio OFF	40 s
	Tempo interarrivo pacchetti LLC	0.5 s
	Numero di blocchi RLC/MAC per pacchetto LLC	30

Tabella 9.4: Parametri di traffico per le sorgenti GPRS

La figura 9.20 mostra il throughput di pacchetto IP nella tratta in downlink. Nel caso di un solo utente presente nel sistema il throughput è molto simile per tutte le sorgenti utilizzate, poiché la rete risulta scarica e quindi è in grado di smaltire rapidamente tutti i blocchi che vengono offerti. L'andamento delle curve è decrescente, poiché all'aumentare degli utenti la condivisione delle risorse permette di trasmettere, a parità di tempo, un minor numero di blocchi. Confrontando queste curve con quelle ricavate per l'uplink si nota che il throughput risulta essere inferiore. Questo è dovuto al fatto che in downlink sono stati utilizzati buffer di trasmissione di dimensione maggiore rispetto a quelli in uplink. Inoltre, in uplink il numero di utenti che vengono serviti contemporaneamente è minore rispetto al downlink, poiché le procedure di accesso al PRACH necessitano di un certo intervallo di tempo prima di poter dare inizio al trasferimento dati; in downlink, invece, l'allocazione delle risorse ai mobili avviene in un tempo costante molto più breve di quello necessario ad ottenere l'accesso.

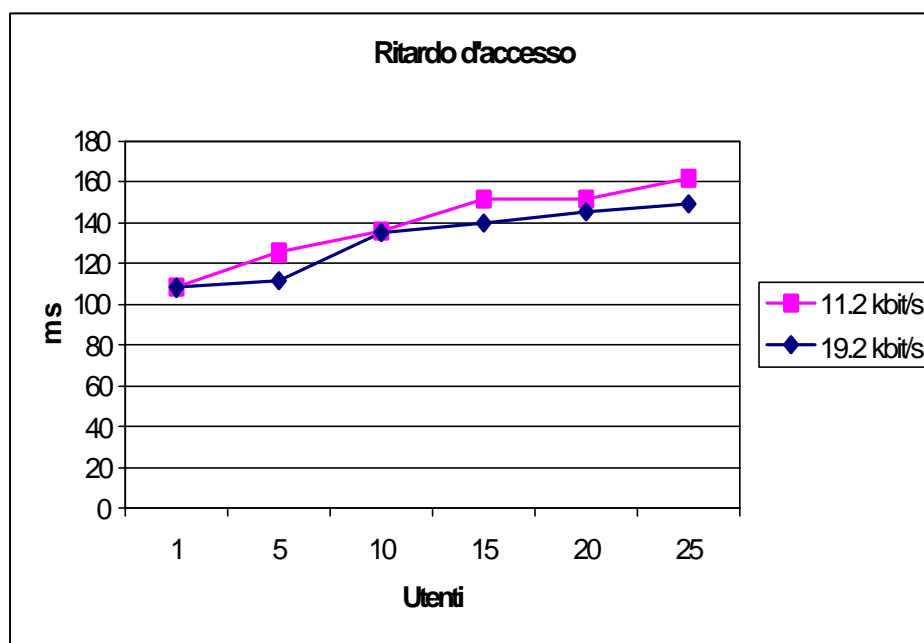


Figura 9.21: Ritardo di accesso in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

9.4.2 Allocazione completa

In questa prova di simulazione, è stato considerato soltanto il traffico GPRS con allocazione su tutti i 7 PDCH dati della portante (il PDCH 0 è riservato alla segnalazione). Il tipo di schedulazione utilizzato è analogo a quello delle simulazioni compiute in precedenza.

Le curve sono effettuate al variare del numero di utenti GPRS presenti all'interno della cella e parametrizzate sul traffico generato. Le sorgenti di traffico utilizzate sono riportate in tabella 9.4. Per queste simulazioni sono stati utilizzati soltanto i due tipi di sorgenti a più alto bit rate, poiché avendo a disposizione sette PDCH, sono quelli che permettono di apprezzare meglio i cambiamenti tra i due contesti.

9.4.2.1 Uplink

In questo paragrafo sono presentati i risultati ottenuti dalle simulazioni riguardanti la tratta in uplink; le curve sono ricavate al variare del numero di utenti GPRS presenti in ciascuna cella di simulazione e parametrizzate in base al traffico di picco offerto.

La figura 9.21 mostra il ritardo temporale con cui i mobili riescono ad ottenere l'accesso alla rete.

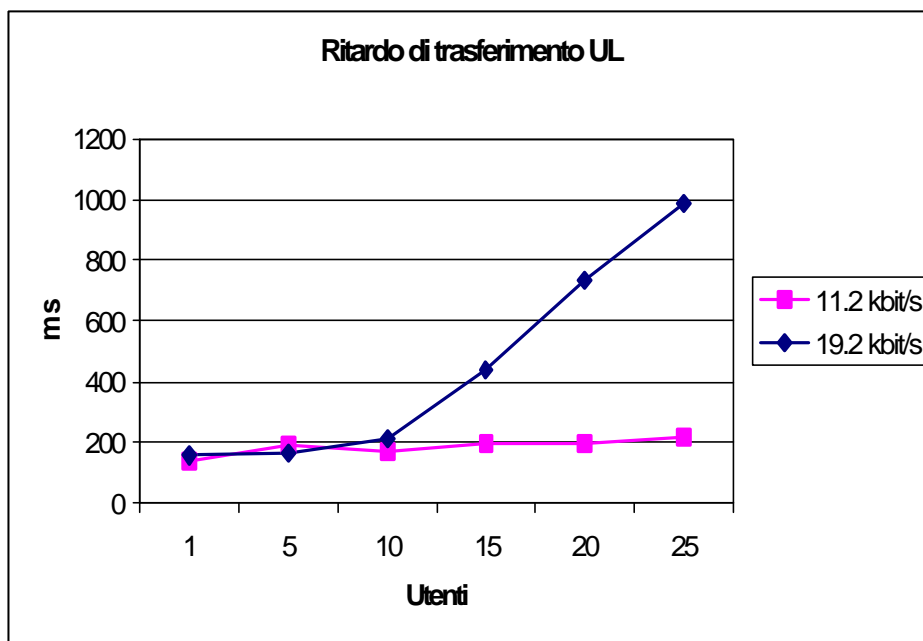


Figura 9.22: Ritardo di trasferimento di un blocco dati in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

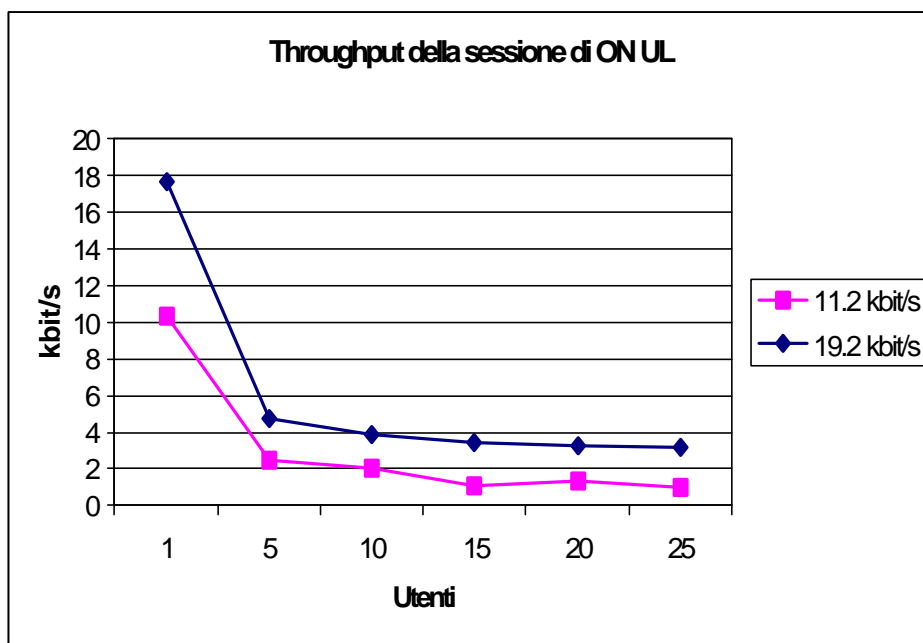


Figura 9.23: Throughput di sessione in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

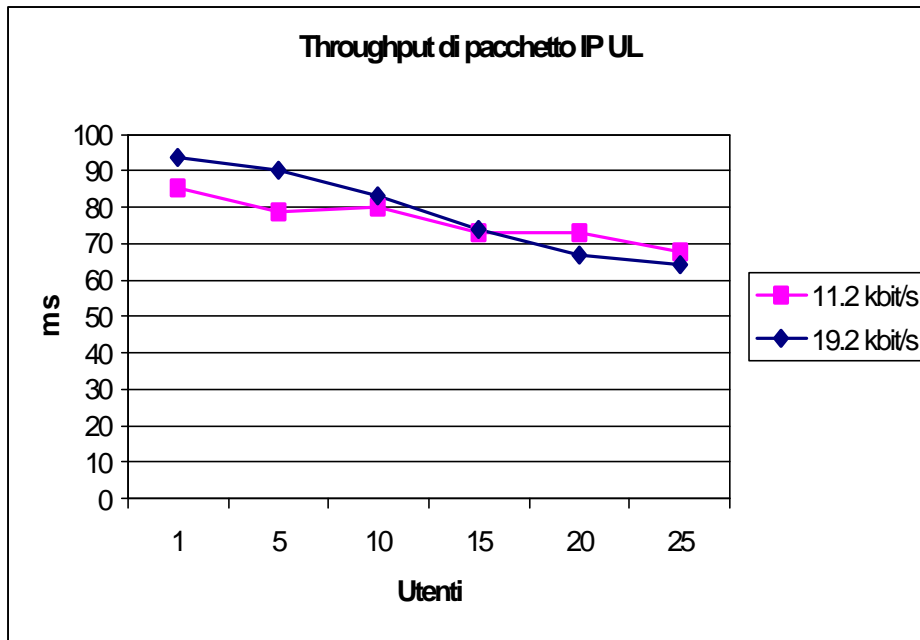


Figure 9.24: Throughput di pacchetto IP in uplink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

Come si può vedere, il tempo cresce all'aumentare del numero di utenti nel sistema, poiché, come è già stato detto precedentemente per le prove su di un solo PDCH dati, cresce anche la probabilità che il tentativo di accesso di un utente collida sull'interfaccia radio con il tentativo di un altro utente. Nel caso di collisione, gli algoritmi implementati e il controllo della trasmissione sul PRACH dovranno gestire l'invio di una nuova richiesta secondo opportune tempistiche: di conseguenza il ritardo subisce un incremento a seconda di quanti tentativi sono stati necessari per ottenere una risposta da parte della rete. Anche in questo caso la sorgente a più alto bit rate determina ritardi minori poiché la maggiore bufferizzazione permette di utilizzare il canale più a lungo riducendo la probabilità di effettuare una nuova richiesta di risorse.

La figura 9.22 mette in evidenza il ritardo di trasferimento dei blocchi MAC al variare del numero di utenti e del traffico offerto. Dato che in questa simulazione sono stati utilizzati tutti i sette PDCH dati, i ritardi risultano essere di gran lunga inferiori, a parità di traffico offerto, rispetto a quelli ottenuti con l'allocazione delle risorse su di un solo PDCH. Infatti, avendo la possibilità in una stessa trama di trasmettere fino a 7 blocchi radio, i ritardi di trasferimento diminuiscono in quanto la bufferizzazione è minore e quindi i singoli blocchi vengono trasferiti molto più velocemente.

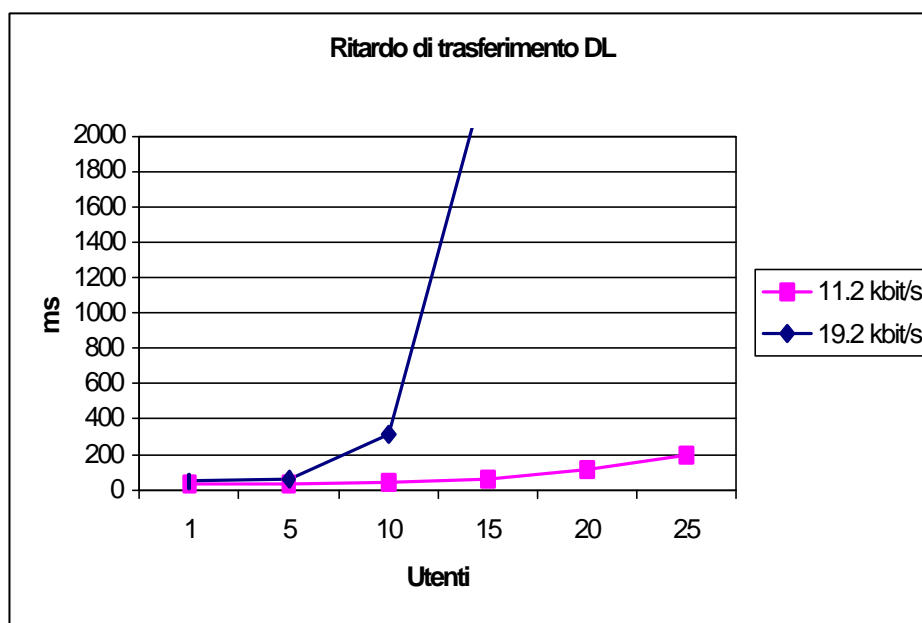


Figure 9.25: Ritardo di trasferimento in downlink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

La figura 9.23 mostra il throughput della sessione di ON in uplink. L'andamento della curva decresce passando da uno a cinque utenti, ricalcando il comportamento che si aveva nel caso di allocazione su di un solo PDCH. Oltre i dieci utenti il throughput rimane praticamente costante poiché il sistema è saturo e non è più in grado di smaltire tutti i blocchi che vengono offerti.

La figura 9.24 rappresenta, invece, il throughput di pacchetto IP in uplink. Come si può notare confrontando questo grafico con quello ottenuto per la simulazione su di un solo PDCH, il throughput aumenta poiché utilizzando 7 PDCH, il tempo necessario a trasferire tutti i blocchi appartenenti ad un pacchetto IP diminuisce. L'andamento è decrescente per entrambe le curve, tuttavia con tempistiche diverse a seconda del tipo di sorgente utilizzato.

9.4.2.2 Downlink

La figura 9.25 mostra il tempo di trasferimento medio di un blocco di livello MAC nella tratta in downlink. Il ritardo cresce molto più velocemente per la sorgente a 19.2 kbit/s poiché la maggior bufferizzazione porta ad avere tempi di trasferimento più elevati rispetto a quella da 11.2 kbit/s. Confrontando queste curve con quelle ottenute nel caso di allocazione su un solo PDCH si nota una generale diminuzione dei ritardi dovuta ad una maggior capacità del sistema.

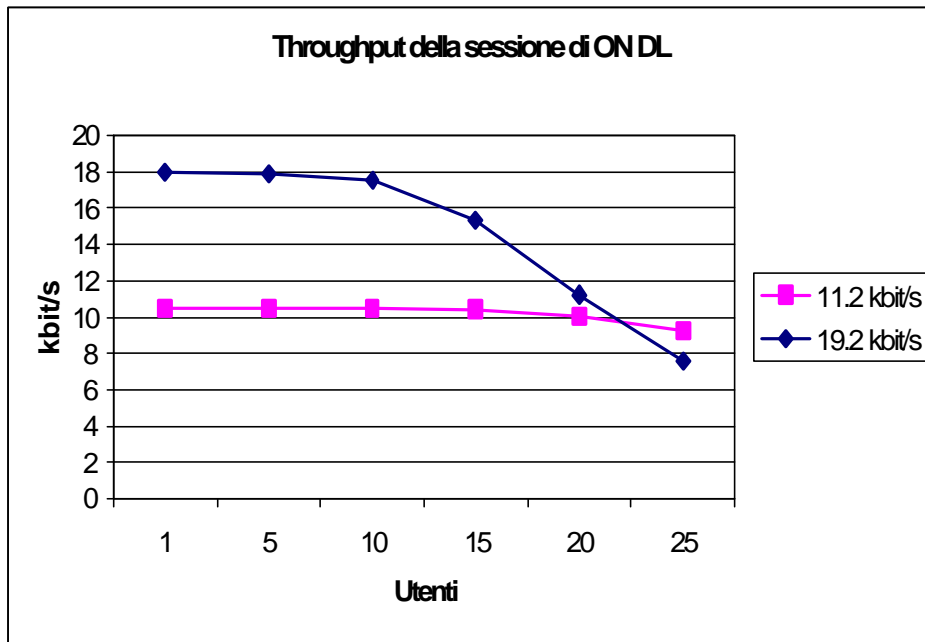


Figure 9.26: Throughput di sessione in downlink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

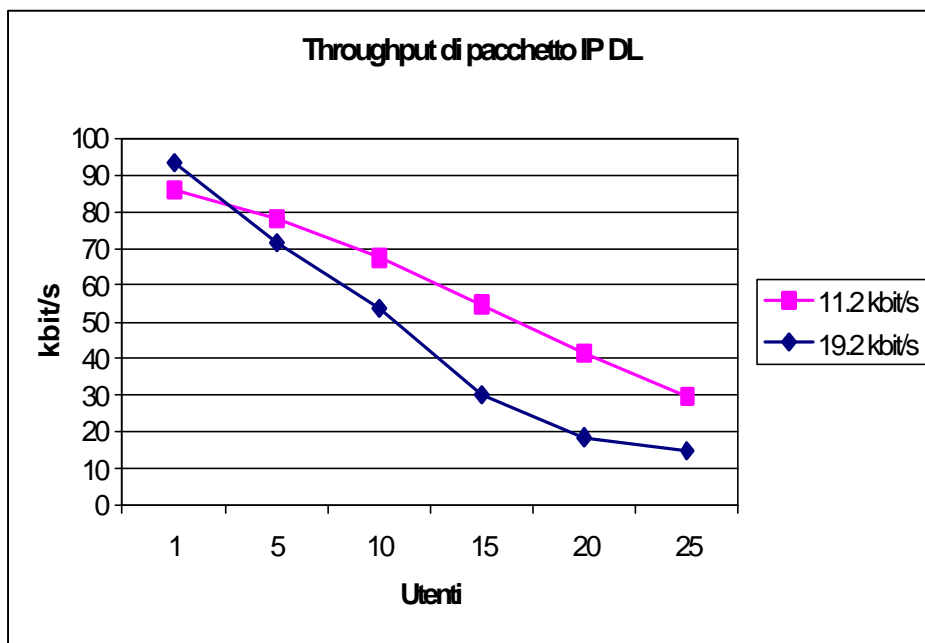


Figure 9.27: Throughput di pacchetto IP in downlink, in assenza di traffico GSM, al variare del numero di utenti GPRS, parametrizzato in base al traffico GPRS offerto, con allocazione su 7 PDCH

Rispetto alle curve ottenute in uplink i ritardi per un basso numero di utenti risultano essere più bassi, in quanto in downlink non è presente la fase di accesso, tuttavia al crescere del numero degli utenti, i ritardi divengono più elevati poiché aumentano i tempi di permanenza dei blocchi nei buffer che in downlink sono di dimensione maggiore.

La figura 9.26 evidenzia l'andamento delle curve di throughput della sessione di ON in downlink. Il loro comportamento è dello stesso tipo di quello ottenuto con un solo PDCH: la differenza più evidente è che il throughput inizia a diminuire con un numero di utenti molto maggiore rispetto alla prova precedente, .

In figura 9.27 vengono mostrate le curve le curve di throughput di pacchetto IP in downlink. Il comportamento è analogo a quanto è stato descritto per la prova su di un solo PDCH e si nota come il throughput sia notevolmente aumentato in seguito all'utilizzo di più PDCH nella stessa trama.