

Workshop Energy@Home: *SMART METER 2G : Analisi e caratterizzazione della comunicazione PLC-C e Opportunità per nuovi servizi*, c/o ANIE, Milano

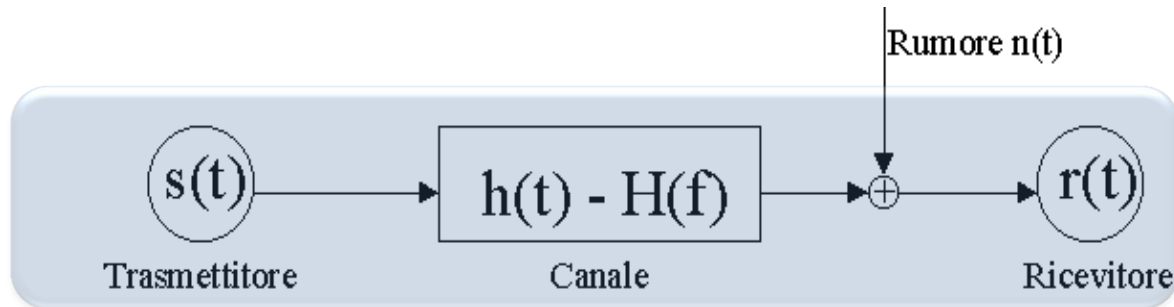


30 Novembre 2016

Caratteristiche del canale PLC

Carlo Tornelli
Federico Belloni

Parametri di caratterizzazione del canale Power Line



Le principali grandezze di interesse sono:

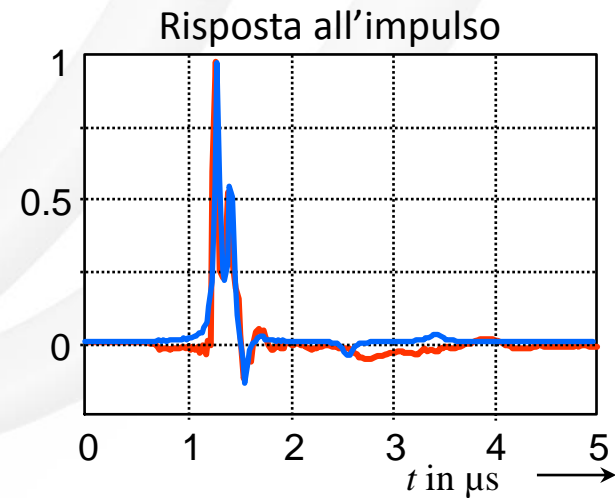
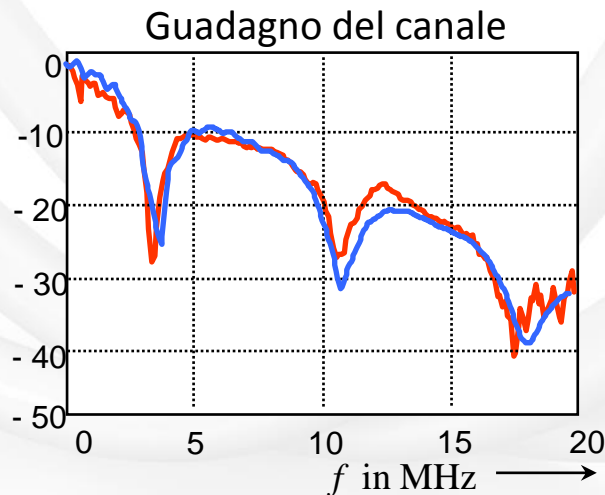
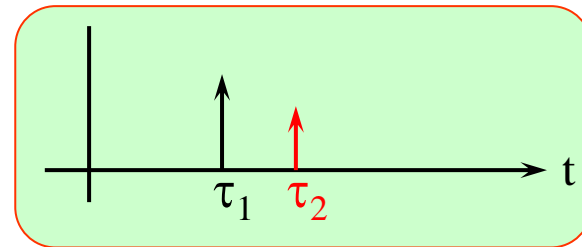
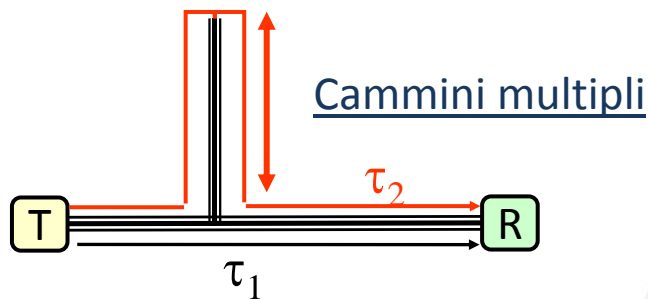
- Funzione di trasferimento del canale $H(f)$
- Risposta all'impulso $h(t)$ e dispersione dei ritardi
- Livello di rumore
- Impedenza di ingresso del canale

Caratteristiche generali del canale power line

- Attenuazione del canale è funzione della frequenza e tempo variante
 - Impedenza di rete variabile col punto di connessione e nel tempo
 - Presenza in linea di rumore variabile nel tempo
- ✓ Perdite ohmiche che aumentano con la distanza e la frequenza (eff. pelle)
 - ✓ Perdite dovute a disadattamenti di impedenza con riflessione dei segnali
 - ✓ Generazione di cammini multipli che causano selettività in frequenza
 - ✓ Varietà del tipo di conduttori
 - ✓ Ramificazione e presenza di giunzioni
 - ✓ Varietà dei carichi e loro variazione nel tempo
 - ✓ Ambiente contaminato da segnali interferenti e diversi tipi di rumore condotto

Trasmissione sul canale Power Line

Ad alte frequenze i conduttori di energia si comportano come linee di trasmissione. In generale la risposta del canale è caratterizzata da cammini multipli fra trasmettitore e ricevitore (come per il canale wireless)

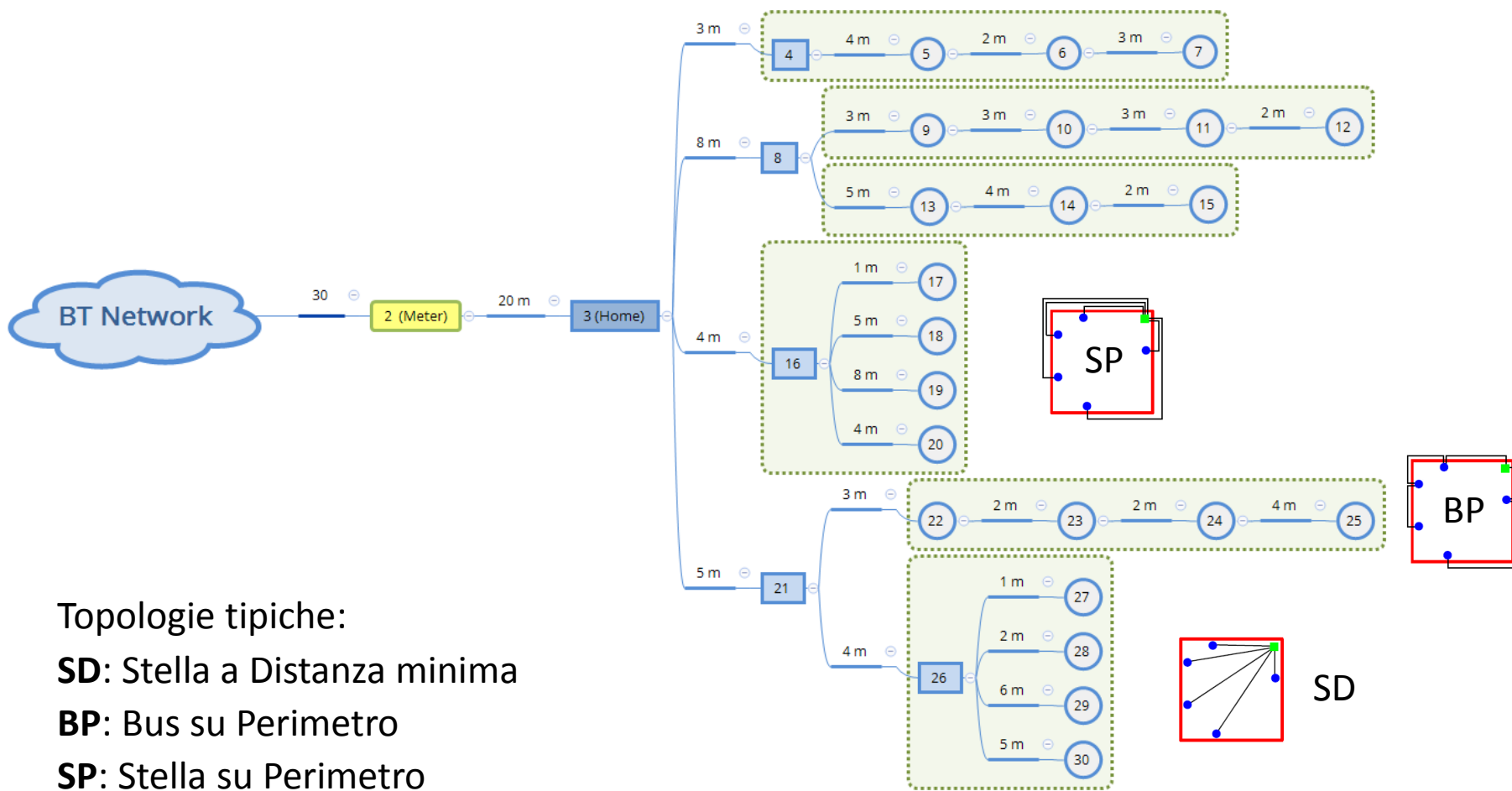


Alcuni risultati relativi alle caratteristiche del canale



- La funzione di trasferimento e il rumore del canale Power Line sono entrambi variabili nel tempo, anche in funzione dell'utilizzo della rete elettrica da parte degli utenti.
- Il livello di rumore presente in banda C, dovuto agli apparecchi collegati alla rete elettrica, è normalmente inferiore rispetto a quello in banda A.
- L'ampiezza del rumore generato da convertitori elettronici è variabile ciclicamente alla frequenza di rete in modo sincrono con l'andamento della tensione.
- Il disturbo complessivo di più convertitori collegati in parallelo sulla stessa rete è inferiore alla somma dei contributi dei singoli apparecchi.

Schema esemplificativo di rete elettrica domestica



Topologie tipiche:

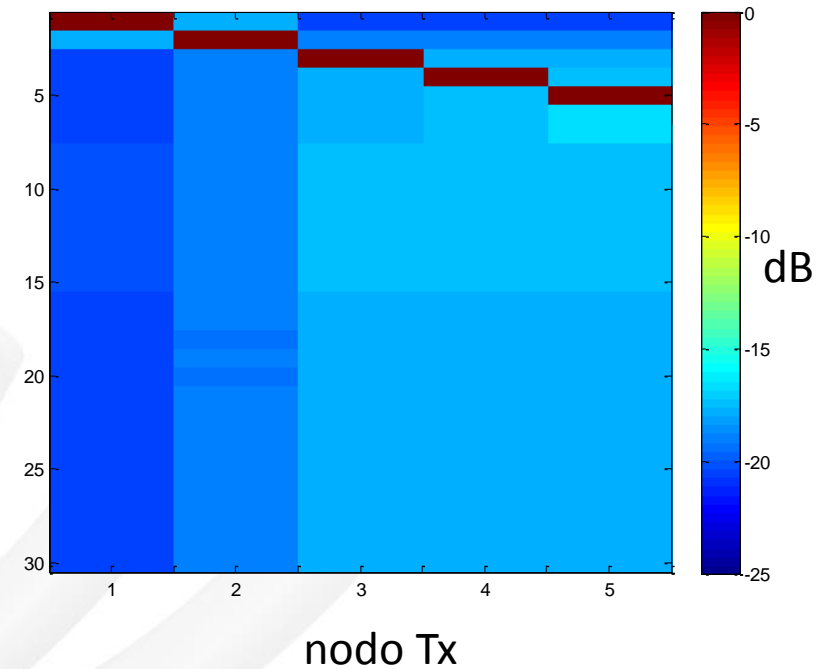
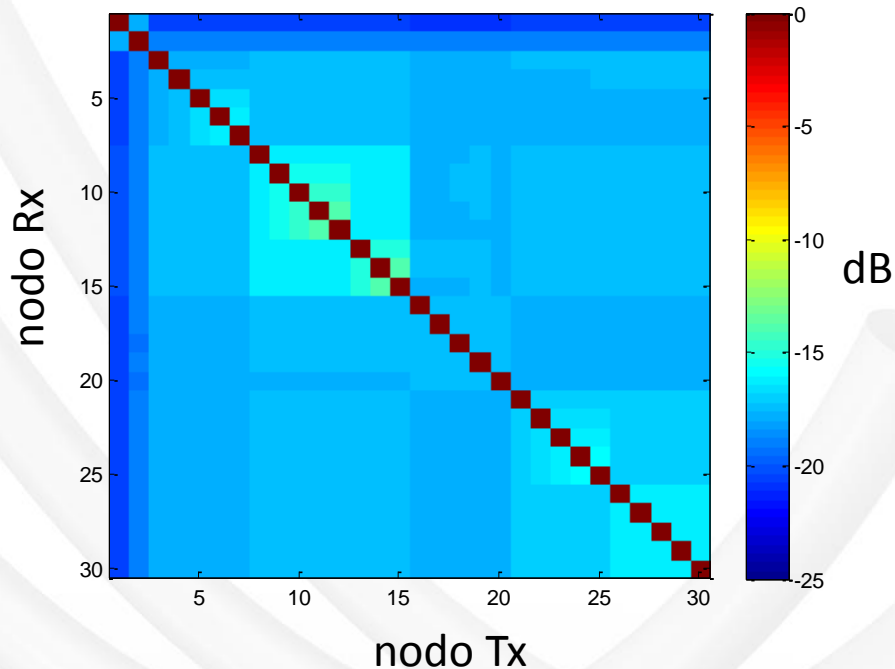
SD: Stella a Distanza minima

BP: Bus su Perimetro

SP: Stella su Perimetro

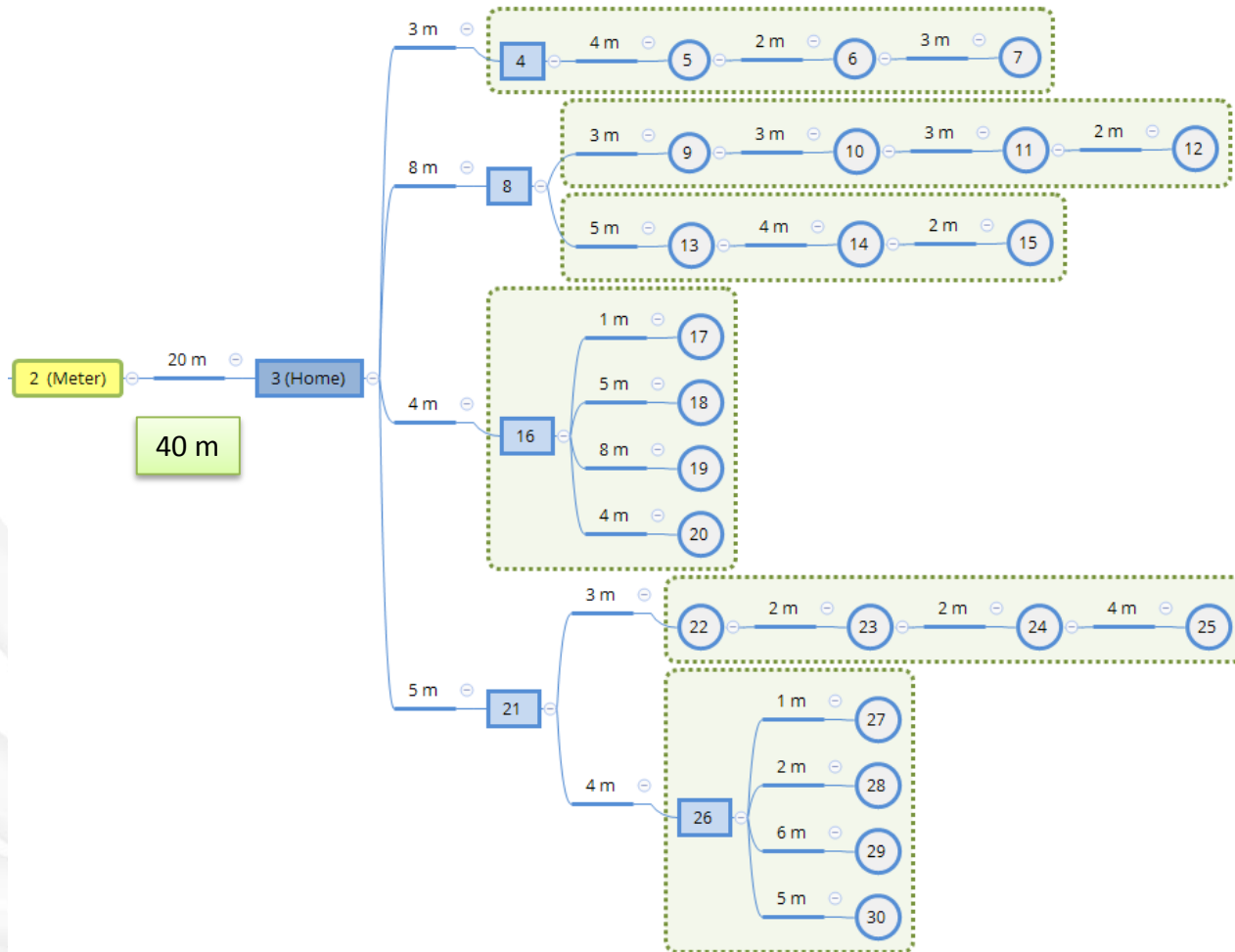
Esempi di simulazione della funzione di trasferimento di canale

Valore medio del guadagno di canale nella banda 50kHz-150 kHz



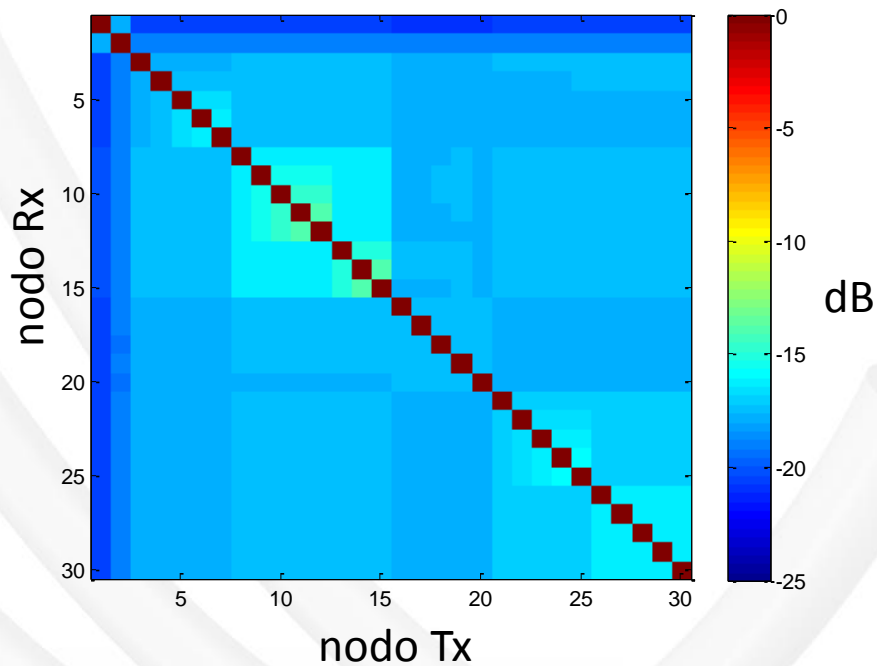
Esempio di simulazione di una rete domestica con una determinata configurazione di carichi. Rete con un solo tipo di conduttore. Modello non validato sperimentalmente.

Simulazione di variazione della distanza contatore – casa

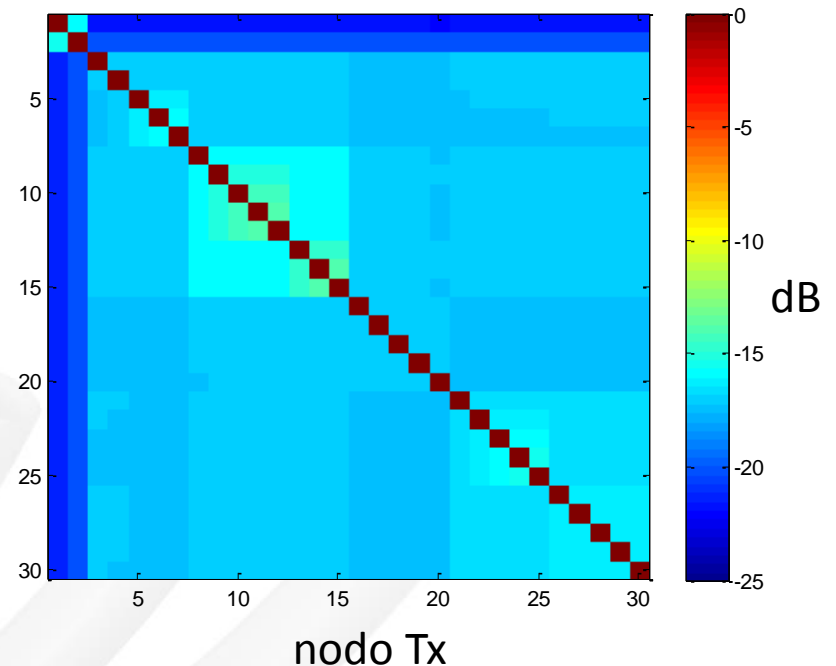


Simulazione di variazione della distanza contatore – casa

Distanza Contatore-Casa = 20m



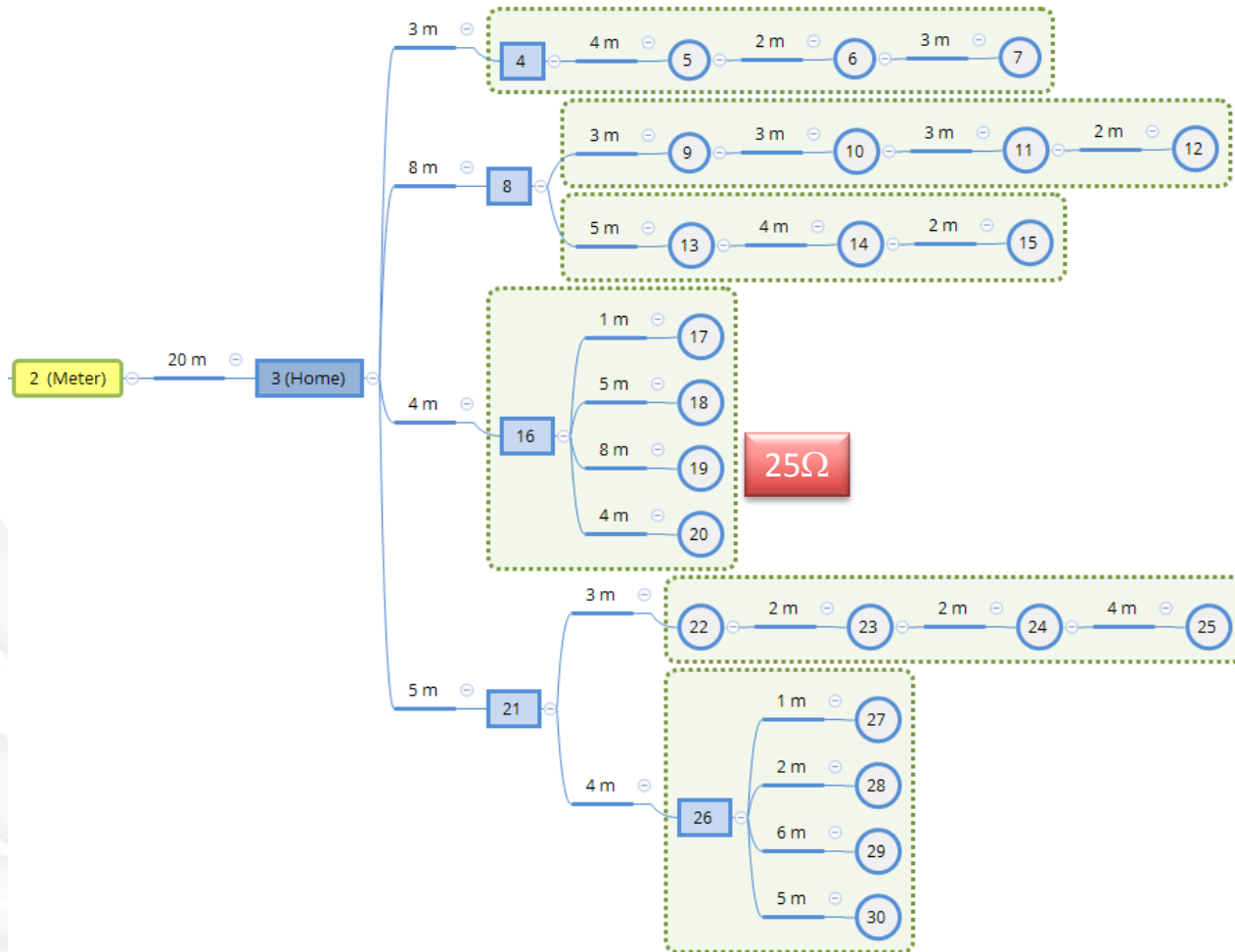
Distanza Contatore-Casa = 40m



Valore medio del guadagno di canale nella banda 50kHz-150 kHz

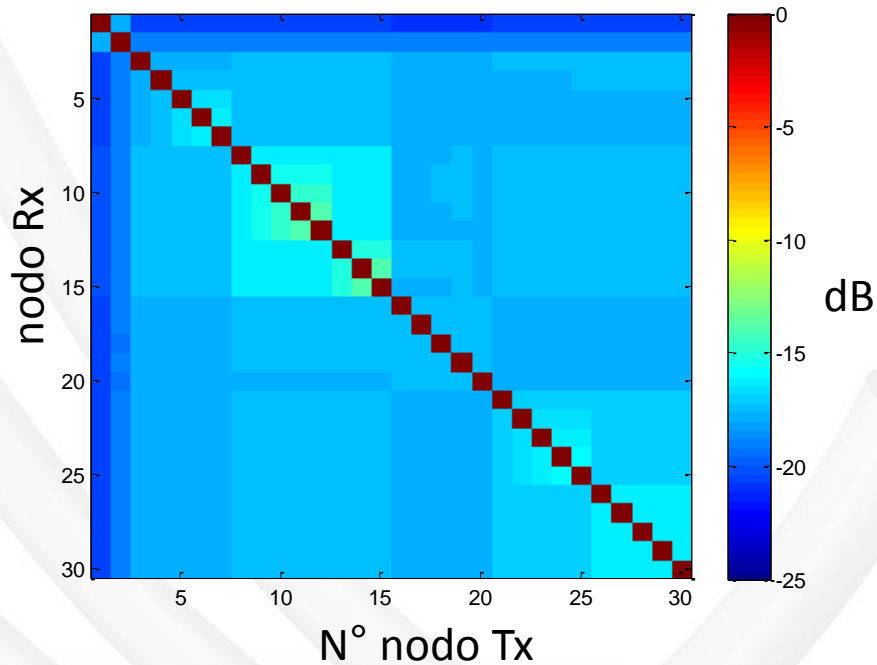
Esempio di simulazione di una rete domestica con una determinata configurazione di carichi.
Rete con un solo tipo di conduttore. Modello non validato sperimentalmente.

Simulazione di variazione della configurazione dei carichi

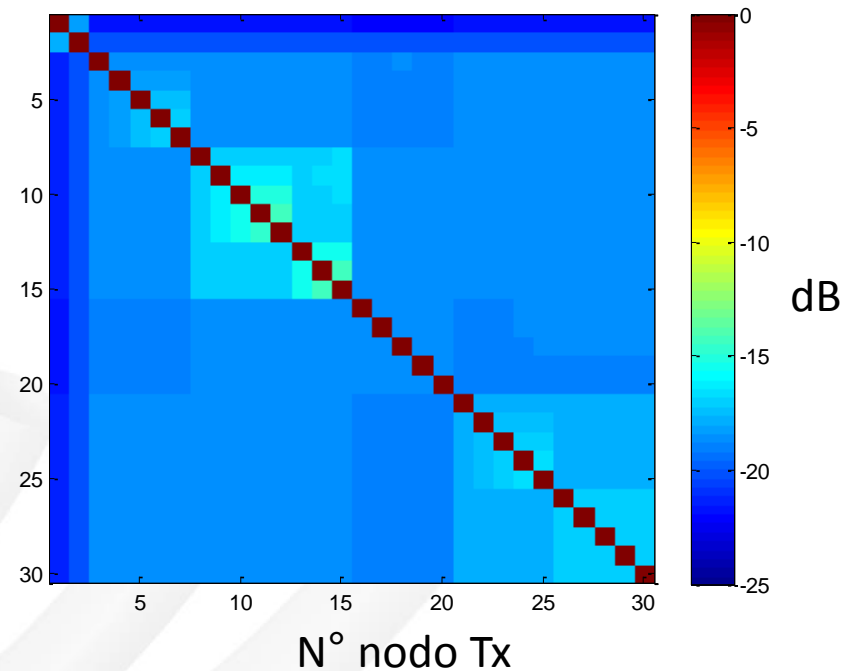


Simulazione di un cambiamento di configurazione dei carichi collegati

Configurazione di riferimento



Aggiunto carico 25 Ω nel nodo 19



Valore medio del guadagno di canale nella banda 50kHz-150 kHz

Esempio di simulazione di una rete domestica per due configurazioni di carichi. Rete con un solo tipo di conduttore. Modello non validato sperimentalmente. Distanza Meter-Home =20m.

Scenario di rumore sul canale power line

- Dispositivi a frequenze diverse da quella di rete (alimentatori switching)
- Spettro a linee discrete (50 kHz - 200 kHz)

rumore di fondo

rumore impulsivo periodico
asincrono alla frequenza principale

- Impulsi di breve durata
- $P(f)$ decrescente
- Ripetizione a 50 o 100 Hz
- Dispositivi a parzializzazione di fase (variatori velocità, ...)

rumore a banda stretta

rumore impulsivo periodico
sincrono alla frequenza principale

- $f < 150$ kHz: carichi quali lampade fluorescenti, TV, ...
- $f > 150$ kHz: interferenze da stazioni radio. Maggiori nella notte a causa della riflessione ionosferica.

rumore colorato

rumore impulsivo
asincrono

Rumore $n(t)$

- Transitori on/off dei carichi
- $P > 50$ dB sul fondo
- Durata: μs - ms
- Spettro fino a qualche MHz

$s(t)$
Trasmittitore

- Somma di numerose sorgenti a bassa potenza
- $P(f)$ decrescente
- Tempo-variante (minuti- ore)

$r(t)$
Ricevitore

Disturbi da apparecchi utente



- Principali sorgenti di disturbo in banda CENELEC per la rete BT:
 - motori, raddrizzatori, in generale tutti i dispositivi di tipo switching (alimentatori, inverter, convertitori elettronici) in cui si verificano variazioni impulsive di corrente con componenti ad alta frequenza.
- In particolare, lo spettro dei disturbi in corrente prodotti da apparecchiature di tipo switching presenta componenti significative a multipli della frequenza di commutazione e di ampiezza decrescente con la frequenza.
- L'ampiezza del disturbo in tensione dipende dall'impedenza di rete nel punto di misura, alla frequenza del disturbo.

Misure dei disturbi iniettati da apparecchi connessi alla rete BT

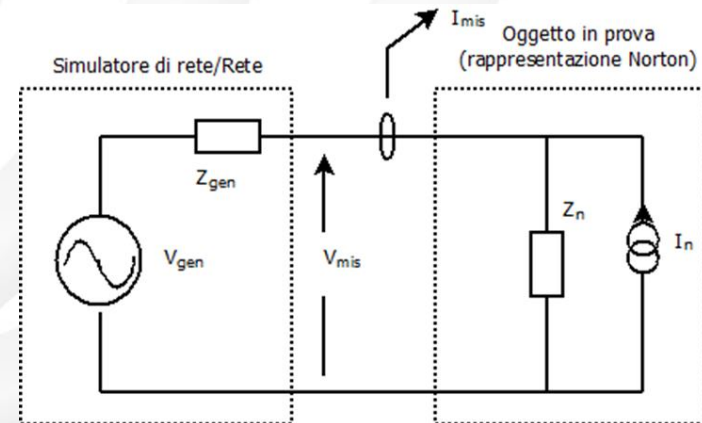
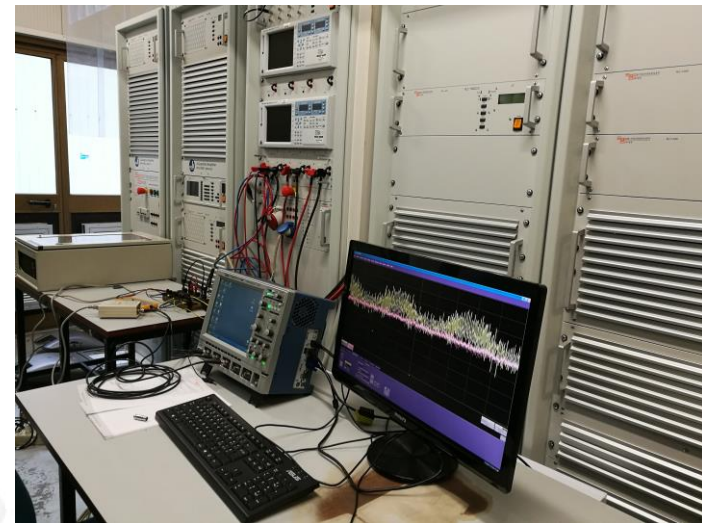
Laboratorio Inverter di RSE

Dotato di:

- generatore controllato per la simulazione della rete elettrica
- Emulatore impianto FV

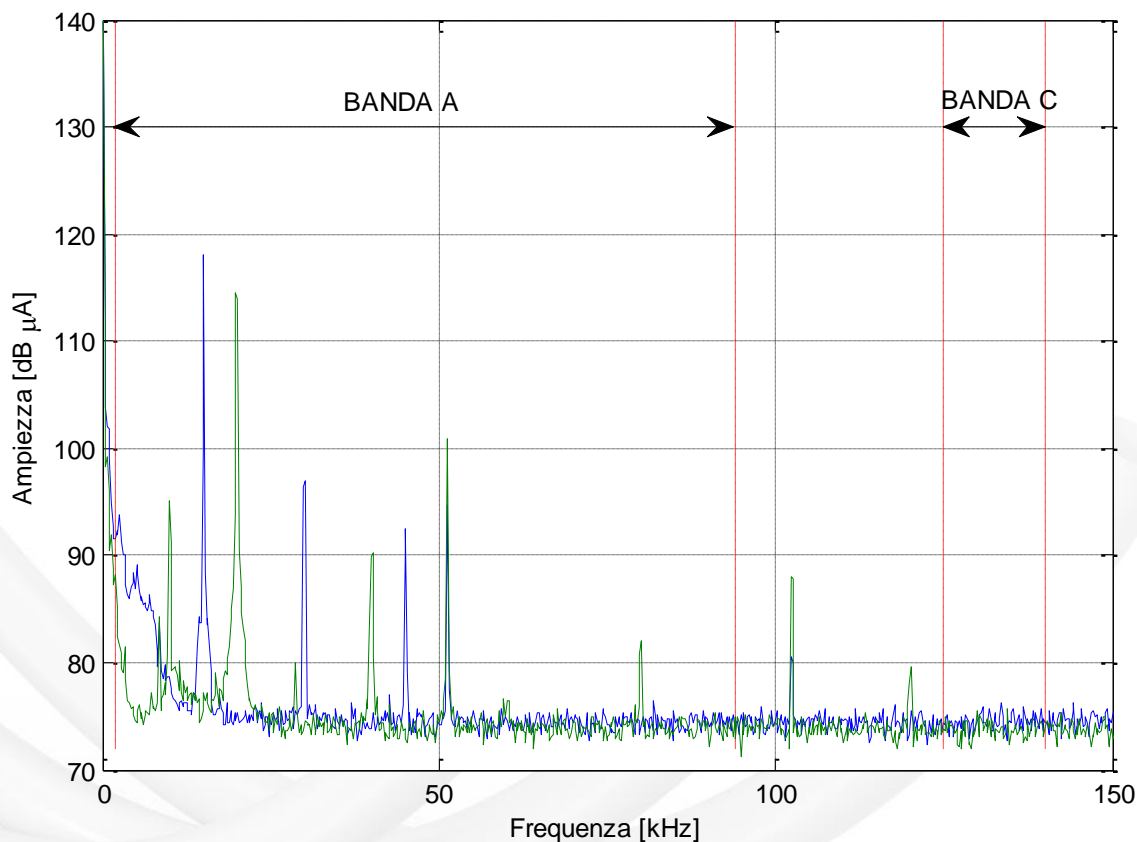
Misure dei disturbi in corrente e tensione di :

- Inverter di generatori fotovoltaici
- Alimentatori per lampade a LED
- Altri dispositivi elettronici di potenza



Disturbi in corrente di inverter fotovoltaici

Misure in laboratorio

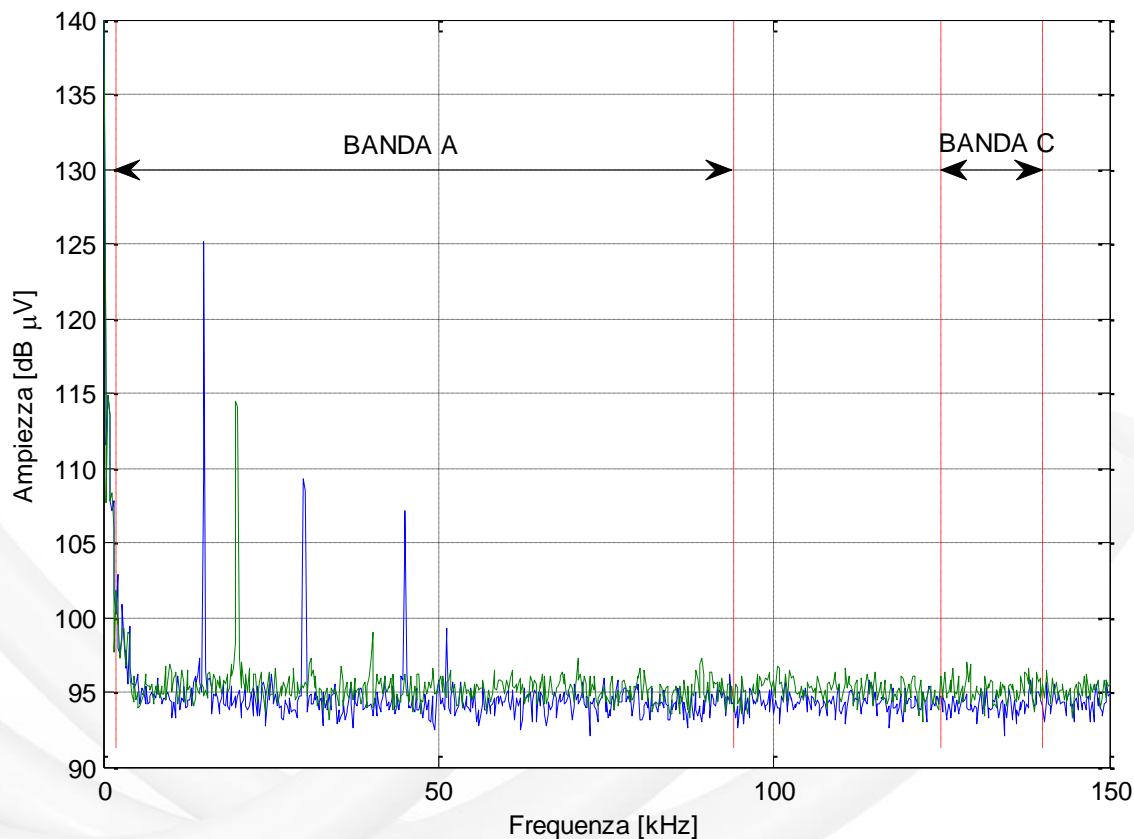


Inverter PV, taglia 4.5 kW

Inverter PV con accumulo, taglia 3 kW

Disturbi in tensione di inverter fotovoltaici

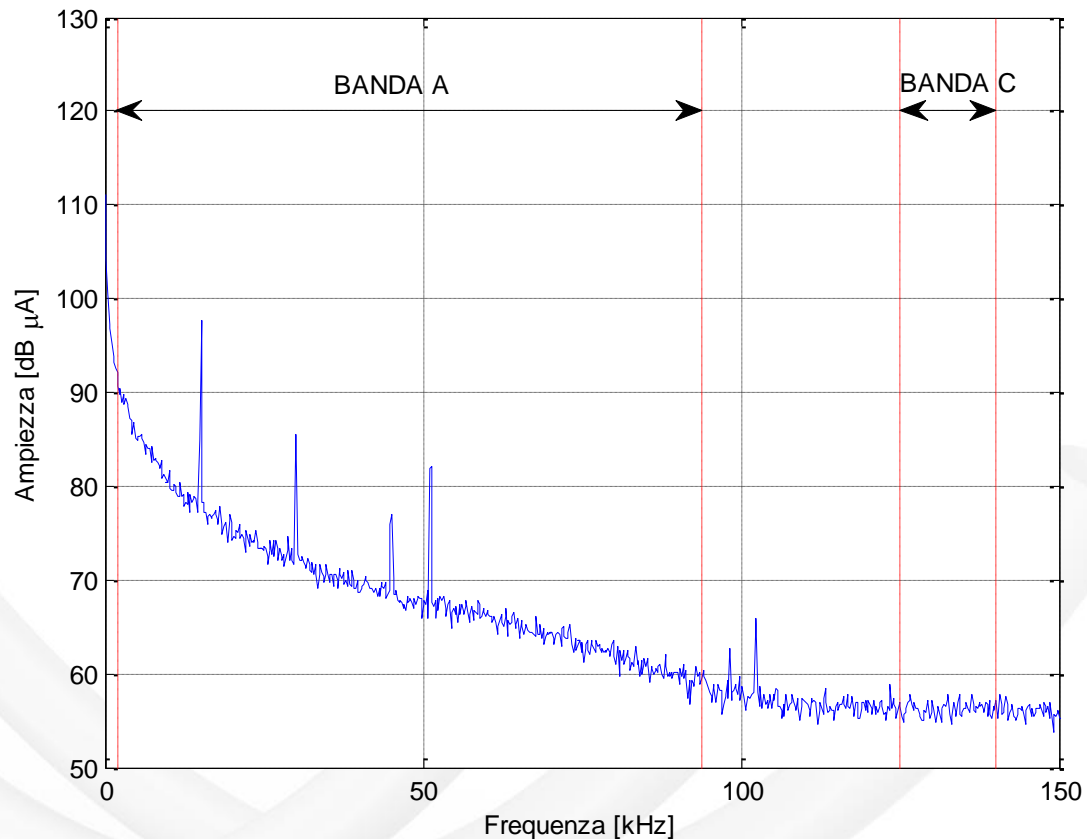
Misure in laboratorio



Inverter PV, taglia 4.5 kW

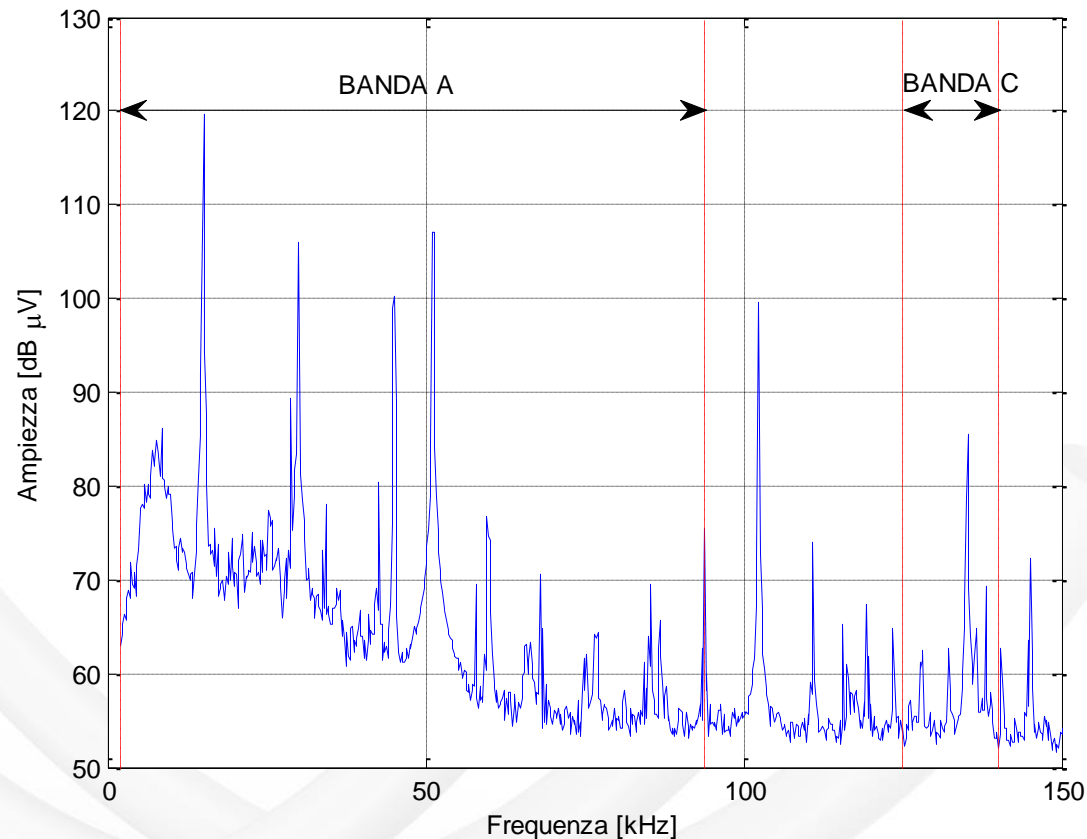
Inverter PV con accumulo, taglia 3 kW

Disturbi in corrente di inverter fotovoltaici



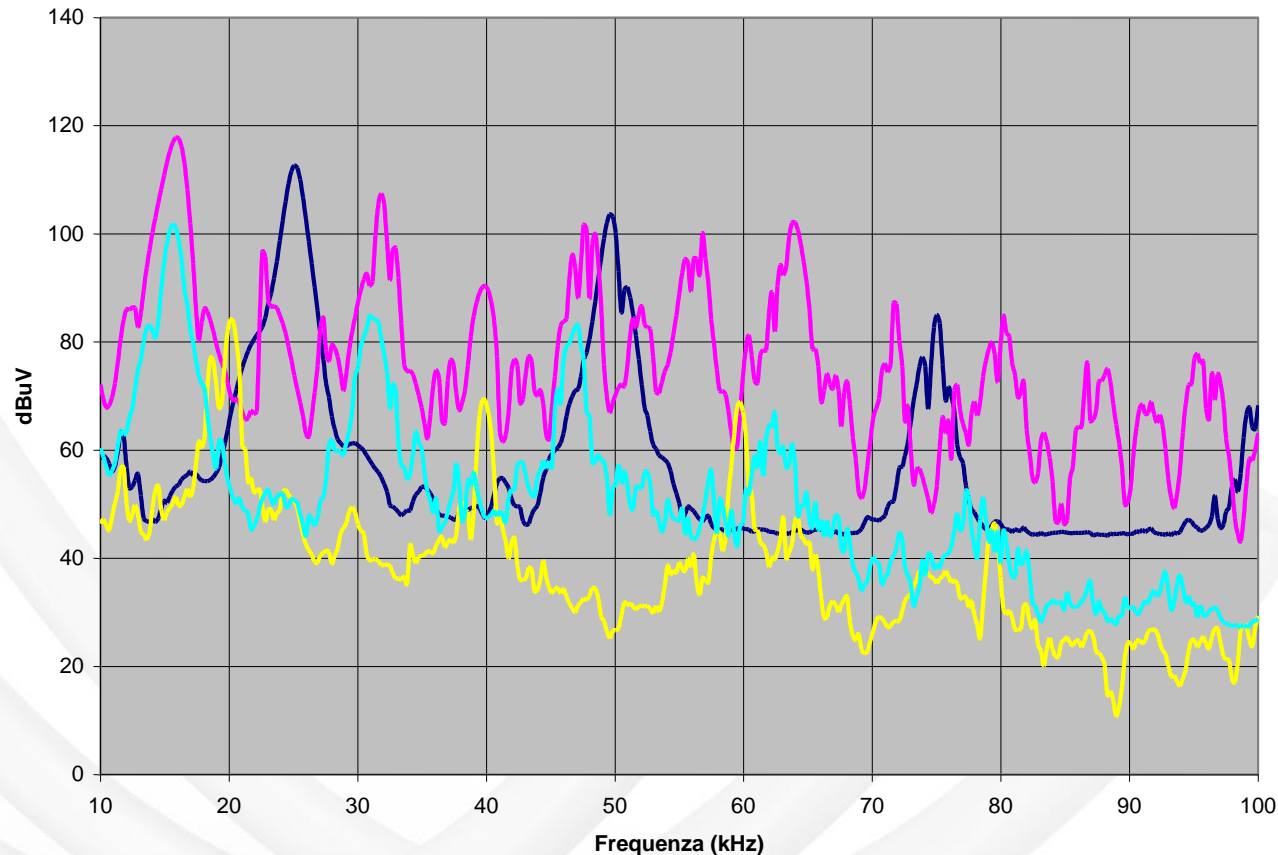
Misura in laboratorio su inverter PV, taglia 4.5 kW

Disturbi in tensione di inverter fotovoltaici



Misura in laboratorio su inverter PV, taglia 4.5 kW

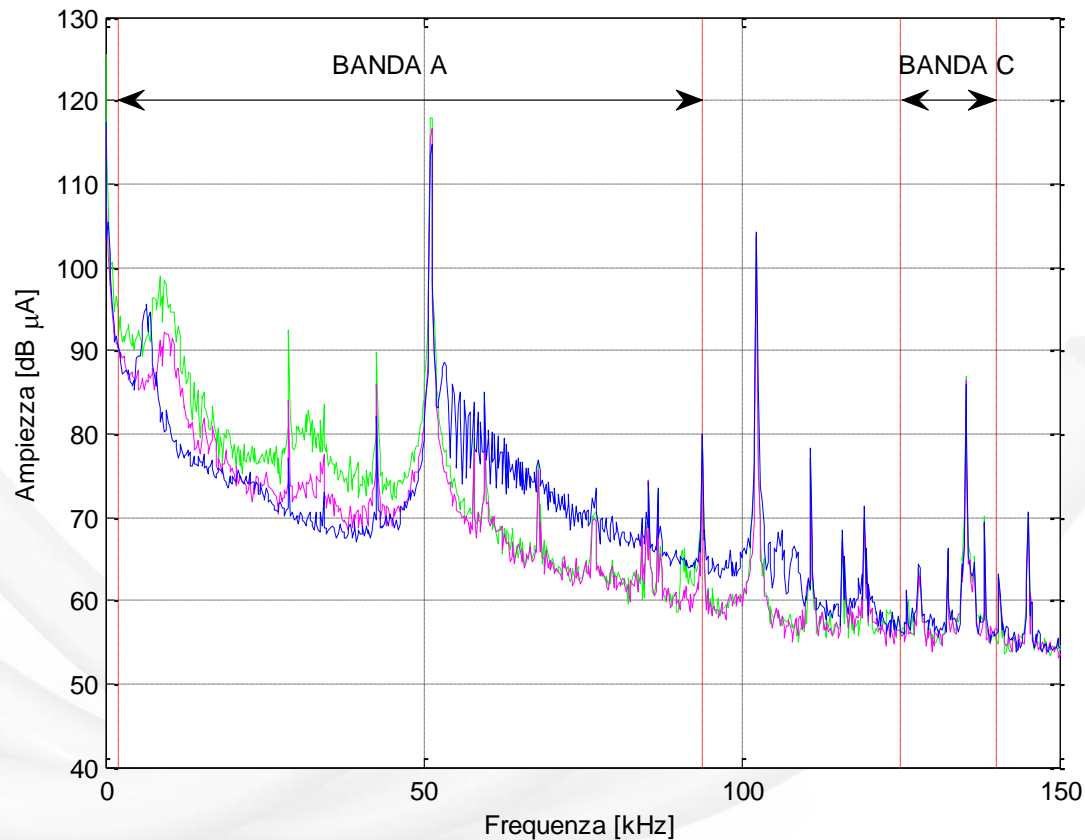
Misure in campo di disturbi da inverter fotovoltaici



[*] SC205A Study report on Electromagnetic interference between electrical equipment/systems in the frequency range below 150 kHz” Ed. 2, Apr. 2013

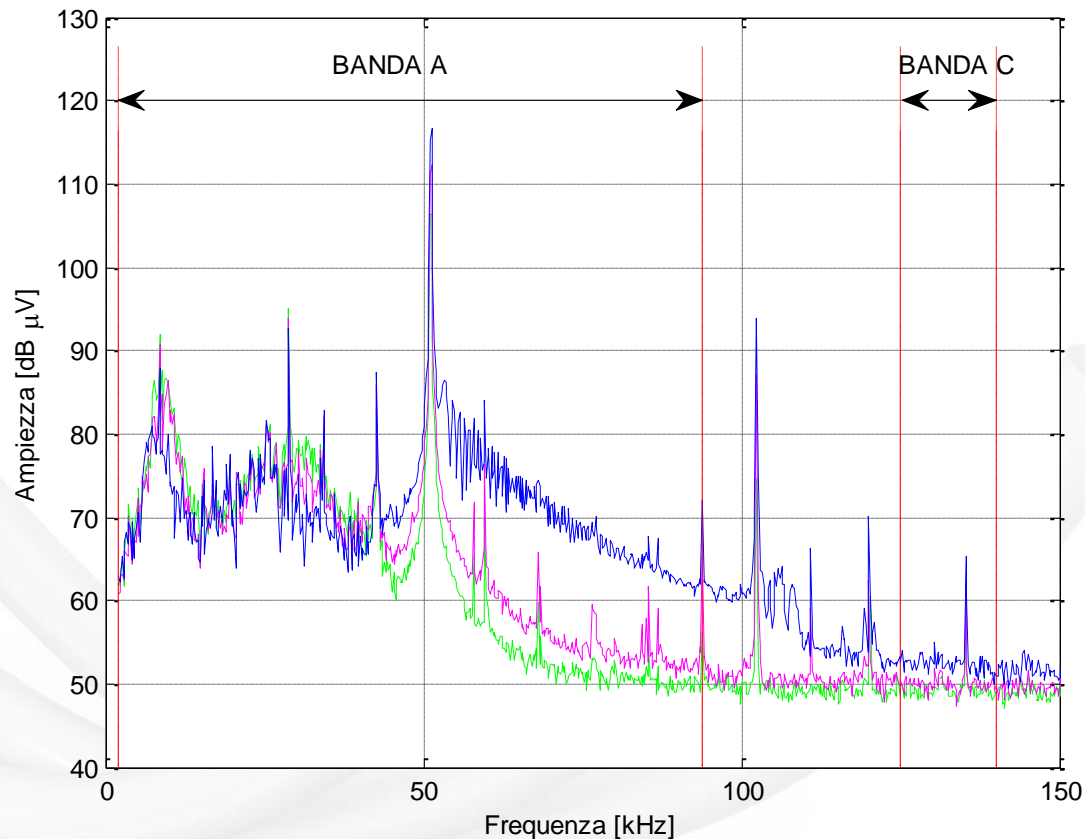
Disturbi in corrente di lampade a LED

Tre modelli di lampade a LED per illuminazione pubblica Misure in laboratorio



Disturbi in tensione di lampade a LED

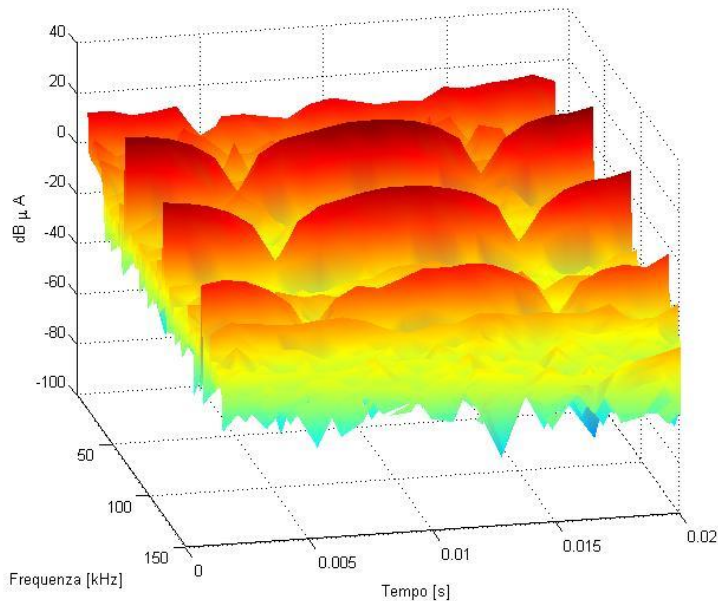
Tre modelli di lampade a LED per illuminazione pubblica Misure in laboratorio



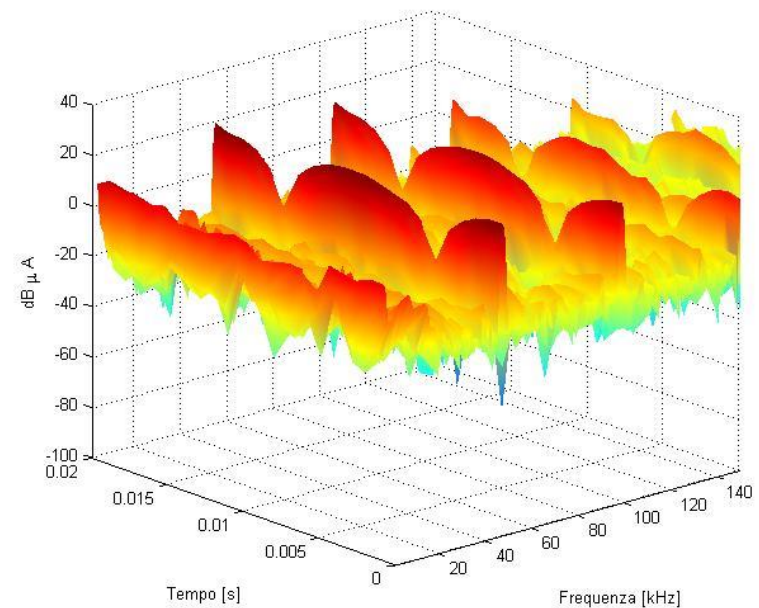
Tempo-varianza dei disturbi con la frequenza di rete

Misure in laboratorio

Inverter PV (4,5 kW)

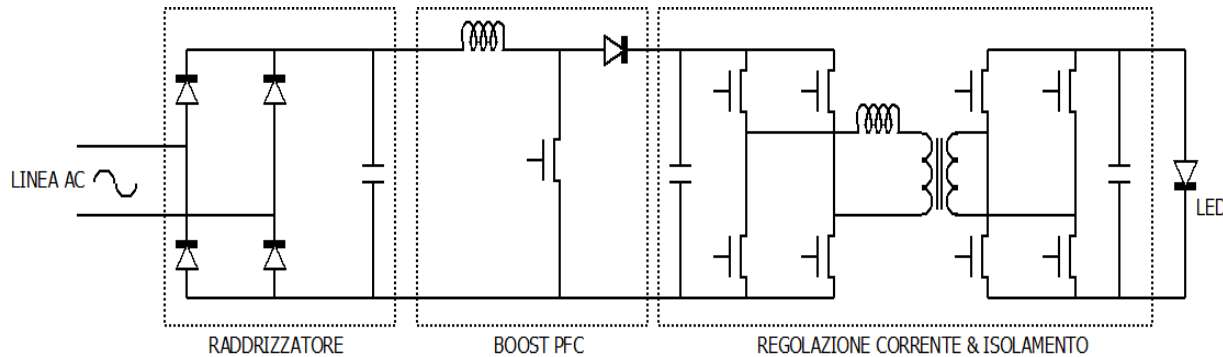


Lampada LED stradale (300 W)



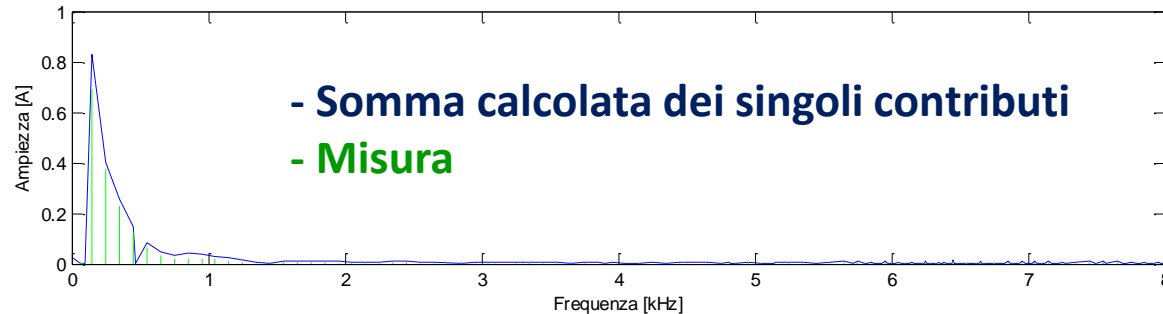
L'ampiezza del rumore varia ciclicamente alla frequenza di rete in modo sincrono con l'andamento della tensione di rete

Composizione dei disturbi di più lampade a LED



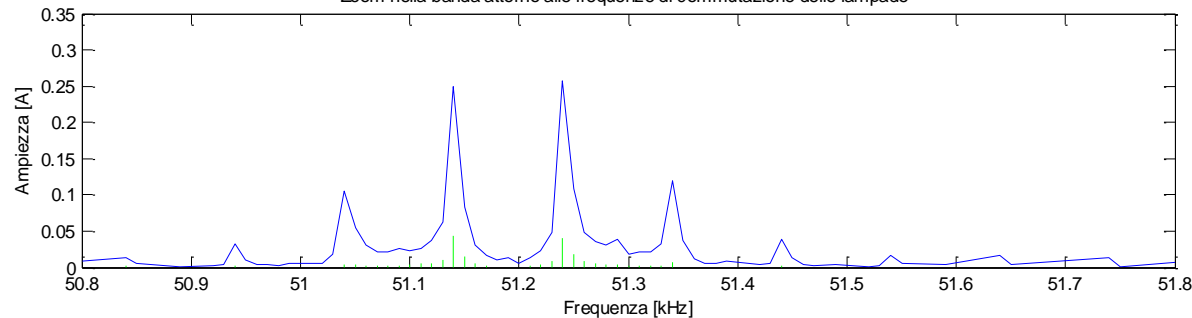
Misure in laboratorio su 9 lampade per illuminazione pubblica in parallelo (tre modelli diversi)

Zoom nella banda 0 Hz ÷ 8 kHz



I contributi di rumore nella banda 0÷8 kHz sono in fase e si sommano (raddrizzatore)

Zoom nella banda attorno alle frequenze di commutazione delle lampade



I contributi di rumore alle frequenze del convertitore DC/DC non sono fra loro correlati e si compensano parzialmente

Spunti per l'ottimizzazione delle prestazioni in banda C



- Si è mostrata la variabilità delle caratteristiche del canale power line (attenuazione, rumore) in funzione della topologia e le caratteristiche della rete elettrica, il numero e il tipo di carichi collegati.
- L'obiettivo di garanzia e mantenimento nel tempo di un determinato livello di qualità della comunicazione suggerisce l'utilizzo di meccanismi di trasmissione adattativi (ad es. controllo automatico della potenza in trasmissione) che richiedono una stima delle caratteristiche del canale, possibile a partire da segnali di ritorno dal ricevitore.
- Il controllo adattativo della trasmissione, riducendo la probabilità di interferenza fra trasmettitori diversi, favorisce anche la formazione di aree di copertura separate per ogni trasmettitore, contribuendo al miglioramento delle prestazioni.
- Infatti, con il meccanismo di accesso al mezzo 'Carrier Sense Multiple Access', prescritto in banda C, le prestazioni di comunicazione degradano all'aumentare del numero dei dispositivi che si contendono il canale.

Gravie

Carlo Tornelli
Federico Belloni

Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A.
T&D Technologies Department

carlo.tornelli@rse-web.it
federico.belloni@rse-web.it