

Powerline Communications (PLC)

SMART GRID

Concetto

All'onda che viaggia sulle linee elettriche sottoforma di tensione per trasportare energia elettrica, si somma un'onda sinusoidale (a frequenze diverse dei 50Hz, la frequenza della rete elettrica) che fa da portante per l'informazione da trasportare.

➤ PLC a BANDA STRETTA

Lavorano a frequenze basse (3-500kHz), basse data rate (fino a 100kbps) e coprono distanze elevate (diversi chilometri) che possono essere ulteriormente estese con dei ripetitori (centinaia di km).

➤ PLC a BANDA LARGA

Lavorano a frequenze alte (1.8-250MHz), alte data rate (100Mbps) e comunicazioni a corto raggio (es. home networking)

SMART GRID

Un po' di storia

L'idea di sfruttare i cavi d'alta tensione per sostituire costosi cavi pilota, specialmente nelle aree più remote (distanti anche centinaia di km) risale agli anni '20.

Le comunicazioni su linee elettriche erano limitate alla parte di rete sopra gli 11kV (non la linea verso l'utente domestico) e si usavano frequenze sotto i 150kHz

La scelta delle frequenze deve tener conto del fatto che i cavi irradiano (a frequenze più alte irradiano ancora di più) e quindi interferiscono con sistemi che lavorano a quelle frequenze come sistemi di aiuto alla navigazione aerea o la radiodiffusione

SMART GRID

Un po' di storia

Caratteristiche delle prime linee PLC

- Il canale delle linee ad alta tensione è in generale più benigno del canale delle linee a più bassa tensione.
- Questo perché, le caratteristiche di propagazione dell'onda sulle powerlines, sono influenzate anche da quanti e quali carichi sono attaccati alla rete stessa.
- Quindi, le linee di alta tensione, al contrario di quelle a più bassa tensione dove i carichi variano molto di più, sono caratterizzate da poche o nessuna discontinuità e quindi forniscono una soluzione piuttosto stabile.
- Il rumore (principalmente generato da archi elettrici) era notevole,
- Le condizioni atmosferiche influenzavano molto l'SNR che però si manteneva decente entro 185km.
- Le operazioni di commutazione ed isolamento producevano un rumore a larga banda che poteva avere dei picchi di ampiezza elevati e non avere durata trascurabile, ma per le applicazioni previste non era un grosso problema.

SMART GRID

Un po' di storia
1970-2000

Obiettivo del lavoro svolto in questo trentennio è stato quello di utilizzare la trasmissione dati su cavi elettrici per aumentare l'automazione delle funzioni di distribuzione, come lettura automatica del contatore, controllo selettivo del carico e gestione a distanza della rete.



La trasmissione non è più su linee ad AT ma su linee a BT e quindi MOLTO più "challenging",

Metà degli anni '70, la compagnia elettrica del Wisconsin iniziò a studiare la possibilità di realizzare un sistema sulle linee di distribuzione che consentisse una completa gestione dei carichi, ed una lettura remota dei contatori di luce, acqua e gas. Un apposito transponder domestico provvedeva infatti alla gestione di 4 diversi tipi di carico e di 3 contatori, con anche funzione di memorizzazione dei picchi e degli andamenti dei vari consumi.

SMART GRID

Un po' di storia
1970-2000

Sul finire degli anni '80 ENEL definì le specifiche per un esperimento sulla propria rete il cui scopo era quello di dimostrare praticamente la possibilità di usare le linee a bassa tensione come mezzo per la trasmissione dati. Il progetto prevedeva l'implementazione dei seguenti servizi:

- Lettura remota del consumo continuo degli utenti connessi
- Aggiornamento giornaliero dei carichi
- Limitazione al limite contrattuale del consumo di energia dell'utente
- Registrazione nell'arco di un mese dei picchi di potenza
- Limitazione del consumo globale di energia di tutti gli utenti per sopperire a momentanee carenze di disponibilità
- Confronto tra potenza globale erogata da ogni sottostazione e somma di tutte le potenze di ogni singolo utente per individuare eventuali perdite sulla rete
- Rivelazione di eventuali tentativi di manomissione

SMART GRID

Un po' di storia
1970-2000

Una svolta si ha a metà degli anni '80 quando la NOWEB (una delle 12 compagnie di energia elettrica del Regno Unito) in collaborazione con Open University, iniziò a studiare quelle che oggi si chiamano PLC.



Utilizzo dei cavi elettrici per trasmettere non solo dati a bassa velocità ma VOCE e DATI AD ALTA VELOCITA'

Iniziarono anch'essi a realizzare un sistema di gestione dei carichi e di lettura remota dei contatori.

Si sono però resi conto che questo tipo di servizi non bastava a giustificare da soli la grande quantità di denaro necessaria per installare le infrastrutture necessarie alla trasmissione su larga scala (i cavi già ci sono, ma bisogna mettere trasmettitori, ricevitori ed eventualmente ripetitori)



Si dovevano offrire servizi più "appetibili", che i consumatori avrebbero comprato volentieri come il trasferimento di voce e dati.



Tuttavia, il problema grande era che non c'erano bande di frequenza sufficientemente larghe per trasmettere dati a velocità maggiore di pochi kbps

SMART GRID

Bande di Frequenza Allocate

Bande CENELEC

In Europa, le bande di frequenza a disposizione per eventuali sistemi di comunicazione su linee elettriche a bassa tensione, sono quelli stabiliti dal CENELEC (Comitato Europeo di Normalizzazione Elettrotecnica, fondato nel 1973 senza scopi di lucro con sede a Bruxelles) nella normativa EN 50065-1 del 1991. Normativa nata per regolamentare solo dispositivi di rilevamento e controllo remoto delle linee elettriche (sia quelle appartenenti alla rete di distribuzione dell'energia che quelle all'interno delle abitazioni dei vari utenti)

Il range di frequenze che si possono usare va da 3kHz a 148,5kHz, suddiviso in 5 sottobande con scopo diverso:

- Banda A – 9kHz a 95kHz: uso esclusivo delle industrie fornitrici di energia elettrica
- Banda B (da 95kHz e 125kHz) per sistemi che richiedono presenza continua di canale disponibile, occasionalmente puo' essere utilizzata per inviare altri tipi di segnalazione. In questa banda non è definito un protocollo di accesso (riservato agli utenti)
- Banda C (125kHz-140kHz) per sistemi che funzionano a time sharing o a burst e che quindi non occupano continuamente il canale (riservato agli utenti con accesso CSMA)
- Banda D (140kHz a 148.5kHz) per sistemi di sicurezza e antincendio
- Banda E (3kHz a 8.5kHz) per sistemi che usano continuamente il canale

SMART GRID

Bande di Frequenza Allocate

Bande di frequenza allocate per le PLC a banda stretta in regioni diverse dall'Europa

Regione	Organi di regolamentazione	Banda di frequenze
Giappone	ARIB	10-450kHz
Cina	EPRI	3-90kHz (non regolamentata) 3-500kHz
USA	FCC	10-490kHz

SMART GRID

Bande di Frequenza Allocate

Su queste bande, qual è la massima velocità di trasmissione dati?

Efficienza spettrale

$$\eta = \frac{R}{B}$$

Esempio:

Un modem telefonico può raggiungere una bit rate di 56kbps in download e una bit rate di 28.8 kbps in upload su una banda di poco più di 3kHz (300Hz-3400Hz)

$$\eta = \frac{R}{B} = \frac{56000}{3000} \approx 19 \quad \Downarrow \quad \eta = \frac{R}{B} = \frac{28800}{3000} \approx 10$$

Supponendo di poter ottenere la stessa efficienza spettrale (cosa non semplice date le non facili condizioni di propagazione) sulle linee elettriche, tenendo conto delle limitazioni in banda, avrei la seguente situazione:

In Banda A (quella con maggiore disponibilità di banda), potrei trasmettere al massimo a 1Mbps in downstream e 480kbps in upstream

Se usassi tutte le bande contemporaneamente il massimo bit rate consentito sarebbe 1.5Mbps in downstream e 700kbps in upstream da dividere poi per tutti gli utenti del sistema.

Se volessi offrire servizi più evoluti di un semplice controllo remoto, come un collegamento a larga banda, video di alta qualità o anche semplicemente collegare in LAN dei computer, il sistema sarebbe insufficiente

SMART GRID

Un po' di storia
1970-2000



NOWEB iniziò per la prima volta a studiare al possibilità di usare frequenze più grandi di 1MHz sulla rete a bassa tensione.

L'uso di queste frequenze, oltre a **non essere regolamentato**, crea maggiori problemi di irradiazione, perdite e interferenza con altri sistemi operanti nelle stesse bande, soprattutto se le powerline che si usano sono quelle domestiche che non sono schermate

Nel 1998 la NOWEB avvia progetti pilota in Inghilterra, Germania e Svezia, e poi.....chiude i battenti a Settembre del 1999.

SMART GRID

Un po' di storia
Ultimi anni

A distanza di 10 anni....

➤ da un lato assistiamo ad un rinnovato interesse all'uso delle PLC a BANDA STRETTA, per applicazioni legate alle Smart Grid (come vedremo, offrono grandi vantaggi in diverse applicazioni SG, ma hanno anche dei limiti e diverse tecnologie competitors...)

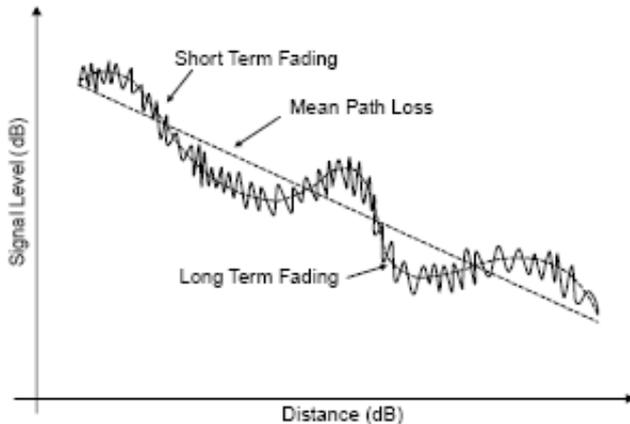
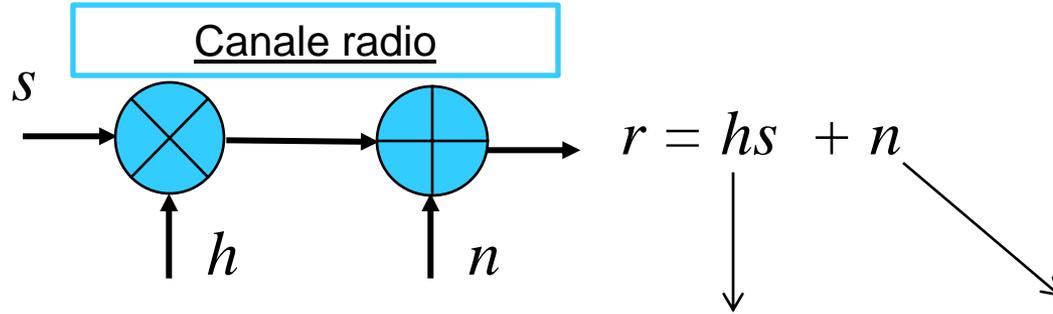
➤ Dall'altro, c'e' un rinnovato interesse sul discorso della PLC a BANDA LARGA. Negli ultimi anni, si è arrivati al concetto di comunicazioni PL a banda larga con bit rate molto più elevate (200Mbps con lo standard HomePlug AV). I nuovi protocolli (HomePlug e IEEE 1901) si basano sulla modulazione OFDM tramite FFT o Wavelet Transform (WT).

L'applicazione è sia come tecnologia dell'ultimo miglio che soprattutto per HOME NETWORKING (Home Area Network) (per raggiungere anche le parti più nascoste della casa, che per esempio la WLAN non riesce a coprire bene e invece c'e' quasi sempre una presa elettrica, connettere televisore con monitor remoto ect.).

SMART GRID

Differenze con il canale radio

s è il segnale trasmesso
 r è il segnale ricevuto



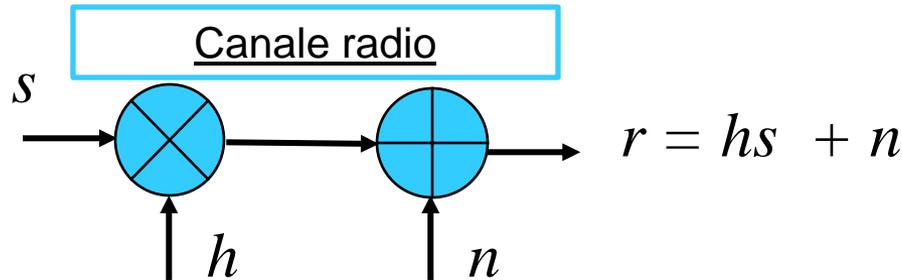
Tiene conto in genere solo dell'attenuazione a breve termine dovuta al fenomeno del multipath che determina quello che si chiama fading. Il fading può essere selettivo in frequenza o meno. Il suo involucro è in genere modellizzabile con una distribuzione di Rayleigh

Rumore Bianco. Anche in caso di interferenza in molti casi, si può modellizzare con rumore bianco Gaussiano

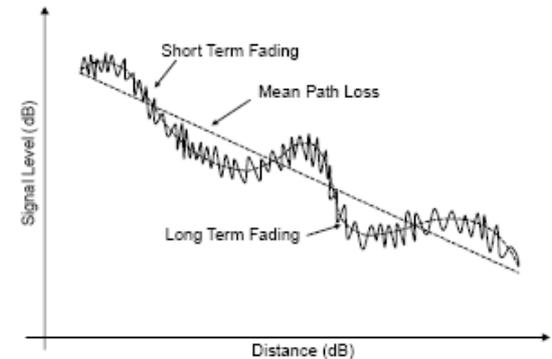
SMART GRID

Differenze con il canale radio

s è il segnale trasmesso
 r è il segnale ricevuto



Pur essendo tempo-variante, è ragionevole assumere che il canale sia tempo-invariante (è un sistema lineare e tempo-invariante e come tale totalmente caratterizzato dalla risposta impulsiva del canale) con certi parametri per la caratterizzazione statistica del fading a breve termine. I parametri della caratterizzazione statistica variano con il tempo in seguito alle variazioni a lungo termine del canale, che avvengono però su tempi molto maggiori di quelli tipici che servono per testare le prestazioni di tecniche di trasmissione.



L'attenuazione a lungo termine del segnale è composta da:

Fading lento (shadowing) è causato da ostacoli di grandi dimensioni (palazzi) tra TX e RX

Il path loss è proporzionale a r^α , dove α è in genere tra 2.5 e 5 (in ambiente urbano)

Entrambi si affrontano con soluzioni di sistema (es. Posizione della stazione base)

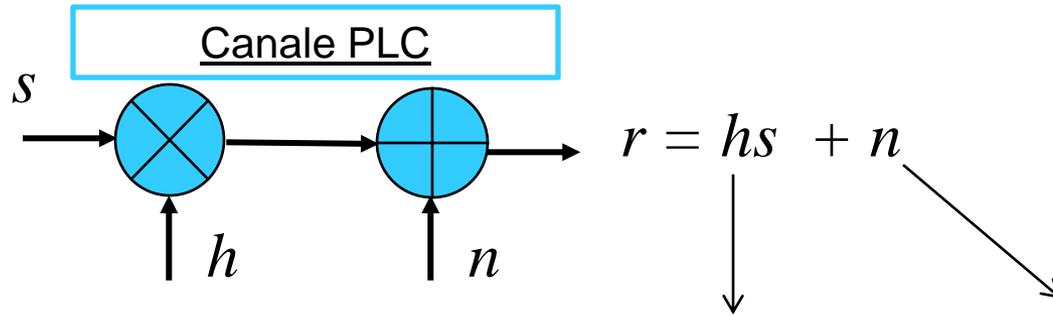


Il path loss dipende dalla frequenza portante!

SMART GRID

Differenze con il canale radio

s è il segnale trasmesso
 r è il segnale ricevuto



- ❑ Tiene conto in genere solo dell'attenuazione a breve termine dovuta al fenomeno del multipath che determina quello che si chiama fading.
- ❑ Il fading è in genere MOLTO selettivo in frequenza. Il suo sviluppo
- ❑ NON è modellizzabile con una distribuzione di Rayleigh

Rumore
COLORATO
e IMPULSIVO,
che decresce
con la
frequenza

SMART GRID

Canale su linee BT

Attenuazione

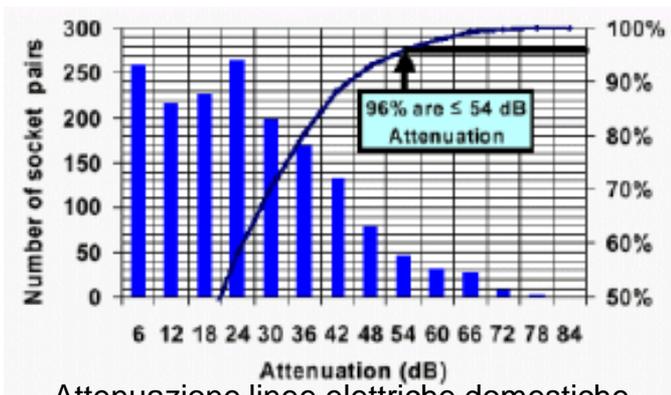
L'attenuazione che aumenta in modo non lineare con la distanza d e con la frequenza f (più sono alte le frequenze più il filo diventa un'antenna che irradia e quindi con forti attenuazioni)

$$A(f, d) = e^{-\alpha(f)d} = e^{-(a_0 + a_1 f^k)d}$$

a_0, a_1 Parametri di attenuazione

k Esponente dei fattori di attenuazione con valori compresi in genere tra 0.2 e 1

Tali parametri dipendono, tra altre cose, dalla configurazione delle rete elettrica, in particolare, *DIPENDENTE DAL NUMERO DI CONNESSIONI DI CARICHI ALLA RETE* (*quanti apparecchi sono collegati alla rete?*)



Attenuazione linee elettriche domestiche

Statistiche tirate fuori a 132kHz
Per circa 1900 coppie di prese elettriche
170 case, appartamenti, condomini
5 paesi

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte

Rete esterna

Multipath

A cosa è dovuto il multipath nelle PLC?

Ai disadattamenti delle impedenze della rete che determinano varie riflessioni.

Si può modellizzare come un canale lineare e tempo invariante completamente descritto dalla sua risposta impulsiva $h(t)$ o risposta in frequenza $H(f)$.

Le linee elettriche sono per natura tempo-varianti. Tuttavia, come nel caso di canale radio, gli studi hanno rivelato che i cambiamenti della risposta in frequenza del canale sono minimi e che quindi questo tipo di approccio è corretto.



Numero di riflessioni non trascurabili

$$H(f) = \sum_{i=0}^{Np-1} g_i A(f, d_i) e^{-j2\pi f \tau_i}$$

Fattori di peso di ogni riflessione, in generale complessi e possono essere fisicamente interpretati come i fattori di riflessione/trasmissione del cammino

E' stato dimostrato di recente che g ha una distribuzione Lognormale su linee BT/MT

S.Galli, A. Scaglione, Z. Wang, "For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid," in *Proceed. of the IEEE*, vol. 9 pp 998-1027, Jun. 2011

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte

Rete esterna

Multipath

$$H(f) = \sum_{i=0}^{Np-1} g_i A(f, d_i) e^{-j2\pi f \tau_i}$$

E' un modello comodo, che con un ristretto numero di parametri ($3Np$) permette di rappresentare il comportamento della $H(f)$ nel range di frequenze tra 500kHz a 20MHz. La determinazione dei parametri richiede la conoscenza della singola rete (topologia, distanze, carichi che si attaccano/staccano). Tuttavia, come nel caso radio, si è verificato che collegamenti con similitudini in termini di lunghezza, del tipo di cavi, o del numero di diramazioni, hanno caratteristiche simili in termini di attenuazione. Quindi, possiamo raggruppare i vari tipi di canale secondo i loro elementi più rappresentativi, e sfruttare il modello suddetto per creare una serie di canali di riferimento.

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte

Rete esterna

Multipath

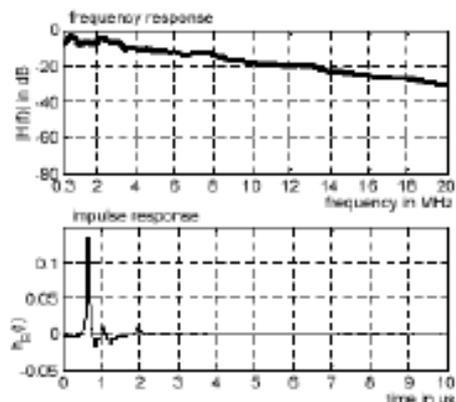
Come esempio, consideriamo 4 canali di riferimento:

RC1: 100m senza diramazioni

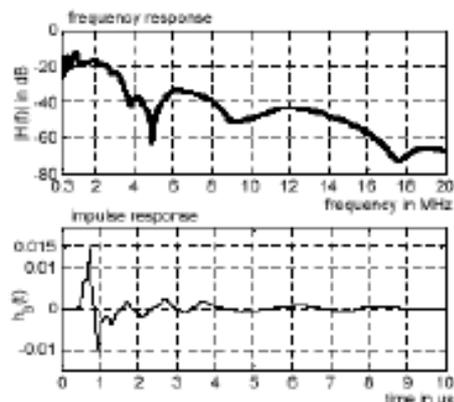
RC2: 110 m con 6 diramazioni

RC3: 210m con 8 diramazioni

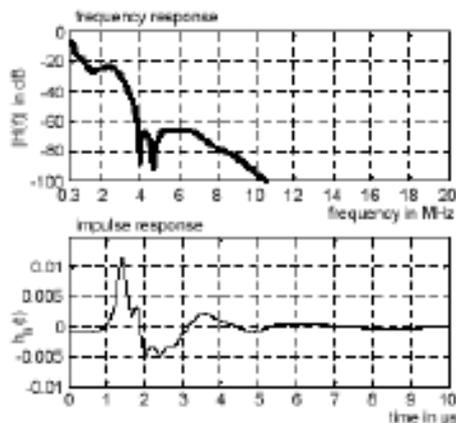
RC4: collegamenti che si possono trovare in aree residenziali senza una precisa struttura



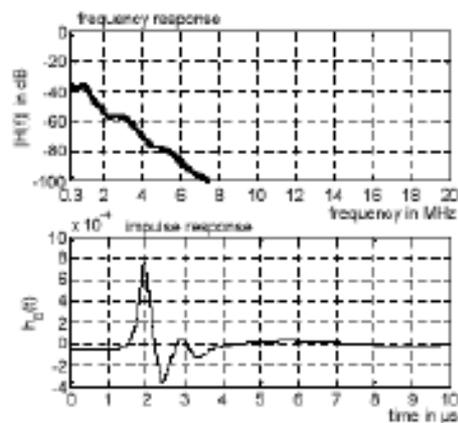
RC1



RC2



RC3



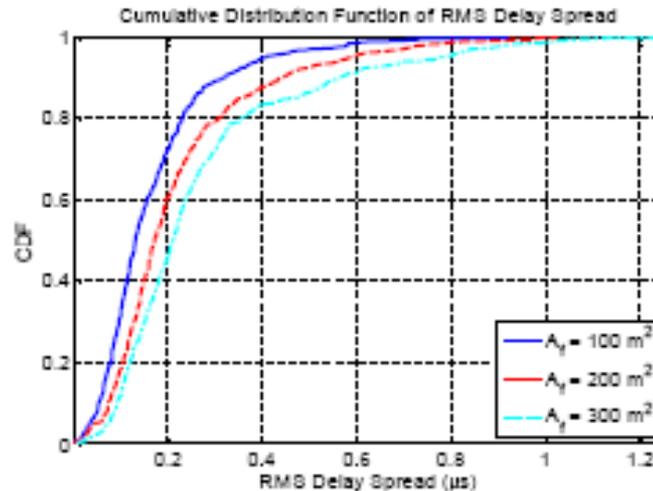
RC4

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte

Rete interna

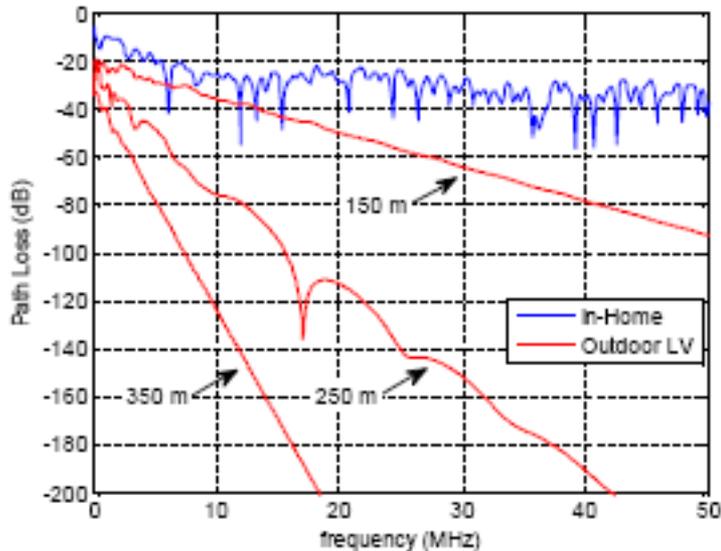
Multipath



Misure su canale interno e BT, **delay spread medio** di 0.1-0.3 μs

SMART GRID

Canale a frequenze alte Interno vs esterno BT



Il canale interno è caratterizzato
da alta selettività in frequenza e bassa attenuazione

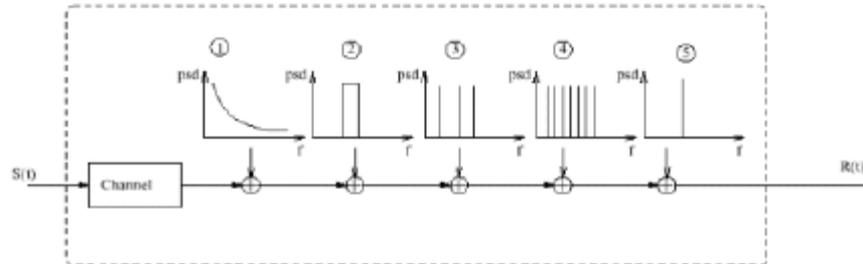
- Elevato numero di diramazioni, discontinuità e carichi disadattati
- Cavi corti

Il canale esterno invece:
Alta attenuazione e basso fading

- Domina l'attenuazione dei cavi

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte e rete esterna Rumore

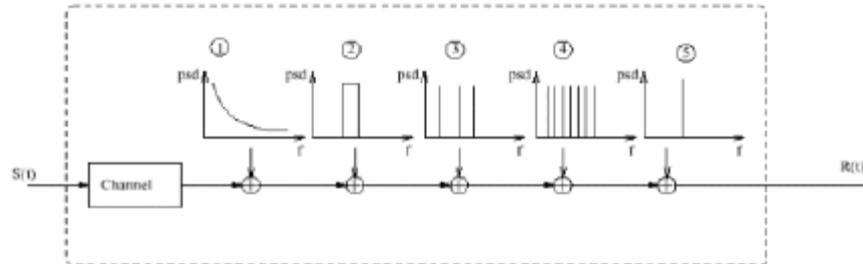


Rumore composto da 5 contributi che hanno caratteristiche diverse

- 1) Rumore di fondo colorato: effetto di numerose sorgenti di rumore a bassa potenza. La sua PSD (Power Spectral Density) varia molto lentamente nel tempo e si mantiene su bassi valori che diminuiscono con l'aumentare della frequenza
- 2) Rumore a banda stretta: principalmente causato dalle stazioni di radio diffusione a onde medie e corte. Il suo livello varia durante la giornata: più alto la notte a causa delle riflessioni atmosferiche
- 3) Rumore impulsivo periodico, **asincrono** alla frequenza principale: causato dall'accensione/spegnimento di dispositivi elettrici e caratterizzato da uno spettro a righe discrete intervallate secondo la frequenza di ripetizione (compresa tra 50 e 200kHz). Esempio: lampade a fluorescenza, ricevitori televisivi.

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte e rete esterna Rumore

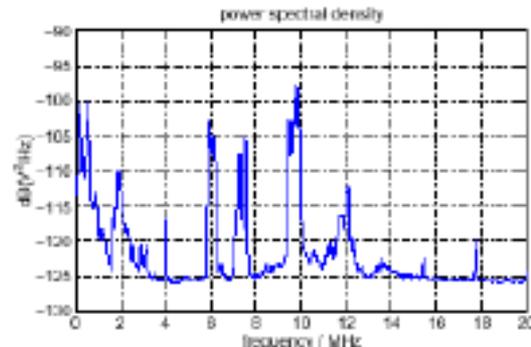


- 4) Rumore impulsivo periodico, **sincrono** con la frequenza principale: costituito da impulsi di breve durata (qualche microsecondo) con frequenza di ripetizione 50 o 100Hz, causato da dispositivi elettrici che funzionano in sincronia con la frequenza principale, la sua PSD diminuisce all'aumentare della frequenza.
- 5) Rumore impulsivo asincrono: generato dai transistori degli interruttori che inseriscono/sconnettono i carichi sulla linea elettrica. La commutazione ON/OFF di un dispositivo collegato alla rete, causa la connessione e sconnessione del condensatore di cui è normalmente provvisto il dispositivo e che serve per la correzione del fattore di potenza. Questo provoca dei transitori di tensione di ampiezze diverse che possono facilmente superare di 50-60dB il rumore di fondo. Gli impulsi hanno una durata compresa tra i microsecondi e i millisecondi, è sicuramente la componente più fastidiosa visto che la sua PSD può facilmente superare 50dB il livello delle altre! (di giorno è maggiore che di notte)

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte e rete esterna Rumore di fondo

Le prime tre componenti, che risultano stazionarie su periodi di secondi, minuti e qualche volta anche di ore, si possono considerare insieme come rumore di fondo



Esempio di rumore di fondo

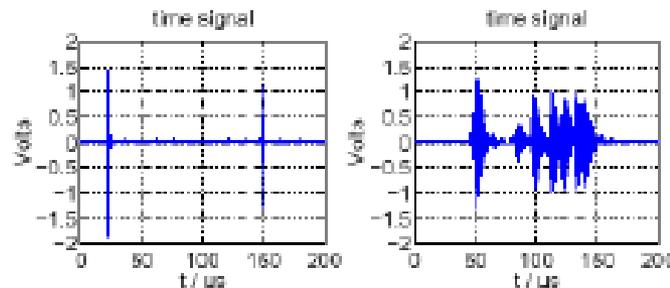
Come si può vedere la componente di rumore dominante è quella a banda stretta, causata dall'interferenza delle stazioni radio: particolarmente visibili risultano infatti gli effetti delle bande di diffusione con lunghezze d'onda 49m, 41m, 32m e 25m.

L'effetto del rumore a banda stretta si ritrova anche sotto i 5 MHz, benchè dai 2 MHz in giù l'effetto prevalente è dovuto al rumore colorato. Tra i 10 e i 16 MHz righe di diversa ampiezza ma equispaziate evidenziano invece l'effetto del rumore impulsivo periodico asincrono (spaziatura di 100kHz)

SMART GRID

Canale su linee BT a frequenze alte e rete esterna Rumore impulsivo

Le componenti quattro e cinque che hanno invece variazioni nell'ordine di microsecondi o millisecondi e producono dei picchi anche notevoli sulla PSD totale del rumore si considerano globalmente come rumore impulsivo.



Un esempio di rumore con impulsi della durata rispettivamente di 4 μ s e di 100 μ s

A causa delle sue brevissime ed improvvise variazioni, il rumore impulsivo asincrono è senza dubbio la fonte di disturbo più pericolosa. Questi impulsi, provocati dai transitori di una qualunque commutazione che avviene sulla rete, sono caratterizzati da durata e tempo di arrivo arbitrari,

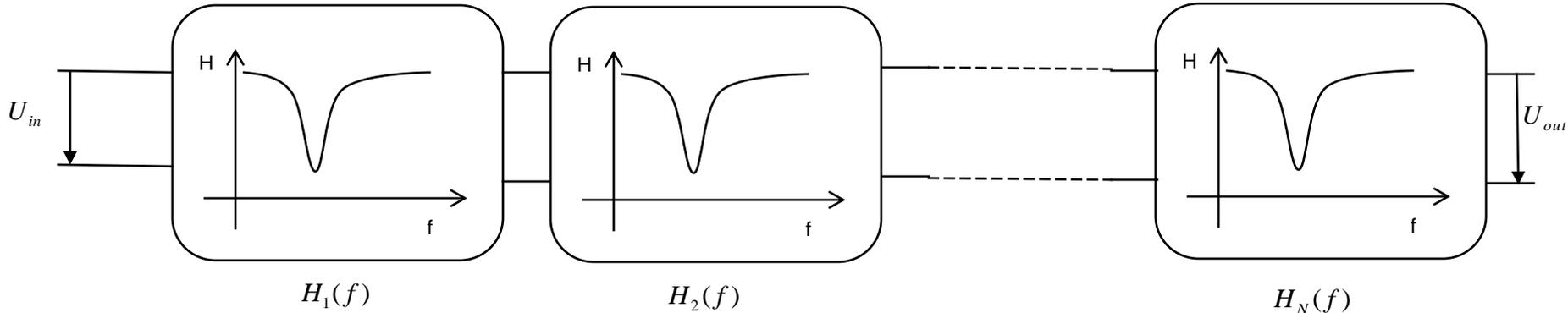
provocano un innalzamento della PSD legata al solo rumore di fondo anche di 60 dB che si traduce in un probabile errore sul bit o sul burst che viene trasmesso in quell'istante.

Diventa quindi di vitale importanza riuscire a realizzare un efficace modello statistico per quanto riguarda ampiezza e larghezza degli impulsi e il loro tempo di interarrivo.

SMART GRID

Modello di Canale su linee BT basato sui circuiti risonanti

Un canale PLC può essere descritto da una cascata di circuiti RLC disaccoppiati.



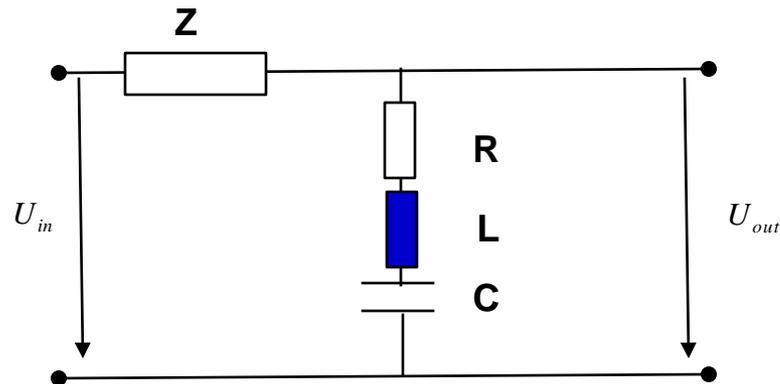
Ogni circuito risonante è descritto da una funzione di trasferimento e la funzione di trasferimento della cascata è:

$$H(f) = \prod_{i=1}^N H_i(f)$$

SMART GRID

Modello di Canale su linee BT basato sui circuiti risonanti

Circuito risonante connesso alla linea tramite una impedenza Z



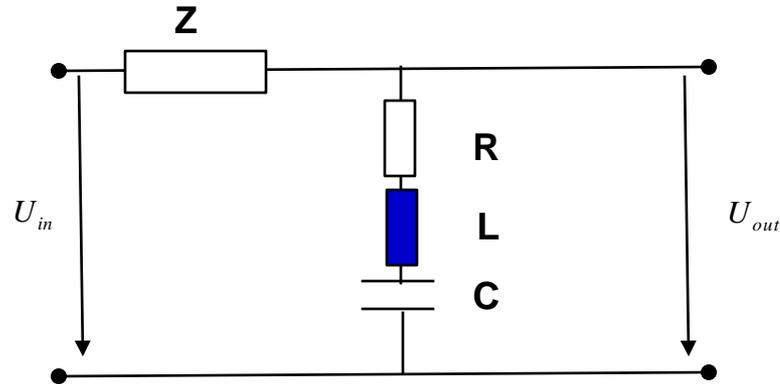
I carichi elettrici in molti casi possono essere descritti da uno o pochi circuiti risonanti costituiti da una R , una induttanza L e capacità C .

Molti elettrodomestici per esempio prevedono delle capacità anti-interferenza (per isolare il carico dagli spikes di tensione sulla rete per esempio), al loro ingresso e possiedono una linea di alimentazione che ha una componente resistiva e una induttiva, e quindi questo modello ha una stretta corrispondenza con la realtà

SMART GRID

Modello di Canale su linee BT basato sui circuiti risonanti

Circuito risonante connesso alla linea tramite una impedenza Z



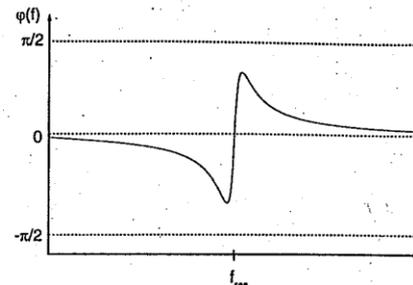
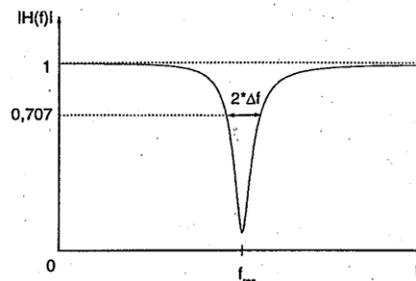
Impedenza del circuito

$$Z_s(f) = R + 2\pi jfL + \frac{1}{2\pi jfC}$$

Frequenza risonante

$$f_{ris} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$H(f) = \frac{1}{1 + \frac{Z}{Z_s(f)}}$$



SMART GRID

Vantaggi e Limiti delle PLC per Smart Grid

- **Infrastruttura** – la principale motivazione per le PLC è che l'infrastruttura già esiste (riuso dell'infrastruttura)
- **Copertura** - le PLC sono un mezzo di comunicazione *pervasivo* nella rete elettrica. Tuttavia, La struttura della rete differisce da paese a paese come anche il modo in cui vengono “tirate” le reti elettriche domestiche. Per esempio, negli Stati Uniti una stazione di bassa tensione serve 10 case invece di 100, quindi, anche se devo mettere solo dei TX/RX in ogni stazione, l'efficacia di una soluzione di questo tipo si riduce rispetto al caso wireless.
- **Costi** – tra le tecnologie cablate, sono quelle che hanno costi comparabili a quelli delle tecnologie wireless, perché l'infrastruttura già esiste. Inoltre, si possono facilmente dispiegare in zone remote o rurali dove è poco conveniente una soluzione cablata tradizionale.
- **EMI (Electromagnetic Interference)**: i cavi sono “non protetti” e quindi, da un lato soffrono, dall'altro possono essere una sorgente, di interferenza elettromagnetica per altri cavi o soluzioni wireless.

SMART GRID

Vantaggi e Limiti delle PLC per Smart Grid

➤ **Modellizzazione del canale difficile!**

Il canale è molto “difficile”, rumoroso, selettivo in frequenza, tempo-variante, e con un rumore di tipo NON bianco ma colorato e anche di tipo impulsivo.

Quindi, ho bisogno di usare tecniche di modulazione e codifica ROBUSTE (e questo in genere significa poco efficienti in banda)

➤ **Standardizzazione:** l'assenza di uno standard universale è stato uno dei problemi principali al suo successo di mercato. Ci sono organi di standardizzazione che stanno lavorando ad uno standard, come IEEE 1901.2. Tuttavia, oggi si ha il problema opposto, poiché si hanno diversi standard che devono interoperare e coesistere.

➤ **Affidabilità:** in caso di blackout o linea danneggiata, anche la comunicazione non può avvenire. Quindi, per applicazioni critiche per la sicurezza delle rete, si deve prevedere un collegamento di back-up.

➤ **Sicurezza:** è un mezzo condiviso e come tale pone problemi di sicurezza (accesso non autorizzato a informazioni confidenziali)

SMART GRID

Applicazioni delle PLC alle Smart Grid

PLC nel sistema di generazione

Perché un DG (come un pannello solare) sia in grado di immettere energia elettrica nella rete, la sua uscita che è in corrente continua (DC) deve essere convertita da un invertitore in AC.

Nelle prime implementazioni, c'era un unico invertitore centrale.

Tipicamente un pannello solare è fatto da tanti *pannellini* disposti in serie e parallelo. Per aumentare il tempo di vita del pannello, è importante poter individuare dei malfunzionamenti a livello di *pannellino*, in modo da poterlo prima isolare (spegnerlo) e poi riparare o sostituire in un secondo momento. Per questo si sta andando verso l'uso di micro-invertitori attaccati su ogni *pannellino*.



SMART GRID

Applicazioni delle PLC alle Smart Grid

PLC nel sistema di generazione



L'uscita del micro-invertitore viene usata per monitorare lo stato del pannello, insieme con altri sensori (per esempio di temperatura).

Attraverso le powerline in AC tra i vari micro-invertitori, queste statistiche vengono visualizzate su un monitor o remotamente via web.

Se si rivela un guasto, ogni micro-invertitore può essere spento singolarmente.

Per questa applicazione, l'uso delle PLC è piuttosto vantaggioso in quanto semplice ed economico

Una soluzione di tipo wireless avrebbe i seguenti problemi:

- 1) Impossibilità di avere Line-of-Sight (i micro-invertitori in genere sono posizionati dietro il pannello solare)
- 2) Una installazione più complicata
- 3) Problemi di interferenze da emissioni elettromagnetiche (EMI)

Invece, altre soluzioni sempre cablate richiederebbero altri cavi da installare e maggiori costi di manutenzione

SMART GRID

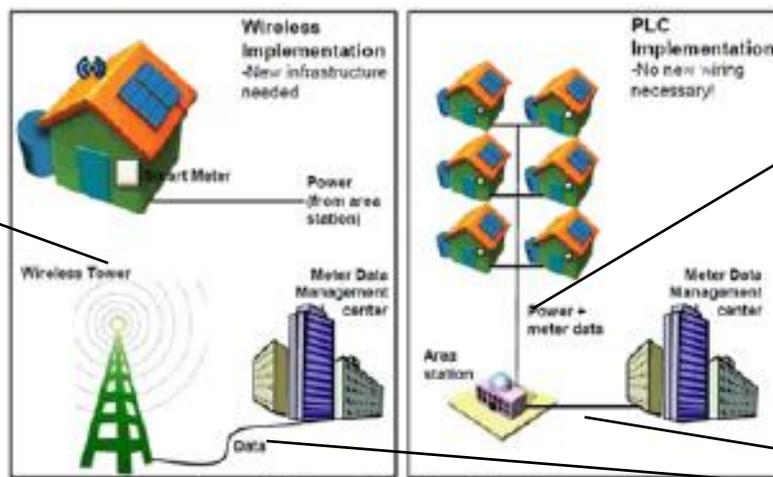
Applicazioni delle PLC alle Smart Grid

PLC nell'AMI (Advanced Metering Infrastructure)

I contatori trasmettono i dati verso un concentratore (che raccoglie i dati dei contatori di un gruppo di abitazioni, in Europa un centinaio)

L'informazione aggregata viene poi mandata all'utility e quindi al Meter Data Management System per essere immagazzinata e poi usata per fare operazioni di analisi e fatturazione.

Wireless
Nota che se usasse la rete cellulare, non sarebbe necessaria un'infrastruttura a parte, ma questa soluzione non garantisce la richiesta copertura (es., in zone rurali), quindi, si deve pensare a soluzioni dedicate e quindi ad un'infrastruttura a parte (vedremo dopo alcune soluzioni)



PLC
(a lungo è stata la soluzione favorita dalla utility)

Per questa connessione a più lungo raggio e con una data rate più elevata, si usa la fibra, o altre connessioni cablate, eventualmente anche soluzioni di tipo radio)

Confronto tra connessioni wireless e PLC per l'AMI

SMART GRID

Applicazioni delle PLC alle Smart Grid

PLC nella domotica (home automation)

La domotica in genere si riferisce alla seguenti applicazioni:

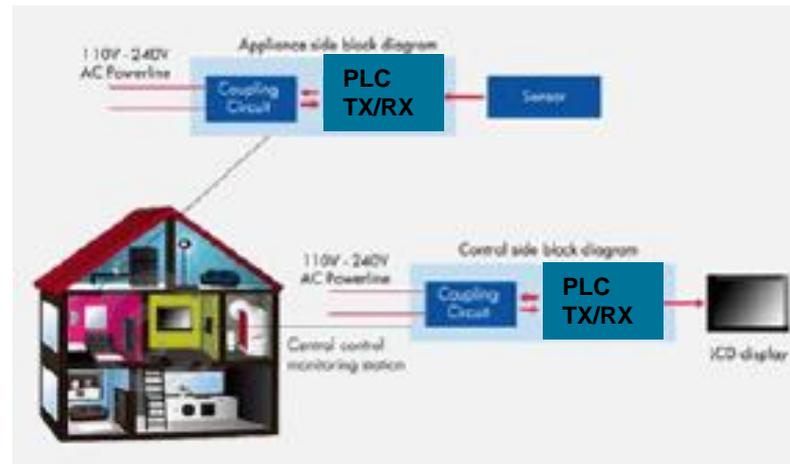
- Controllo dell'illuminazione
- Monitoraggio e controllo degli elettrodomestici
- Sistemi di allarme per al sicurezza
- AMI
- Gestione della salute (Ambient Assisted Living)

SMART GRID

Applicazioni delle PLC alle Smart Grid

PLC nella domotica (home automation)

Lavatrice, lavastoviglie, forno e frigorifero, aria condizionata scaldabagno, “parlano” con il contatore che raccoglie dall’utility, attraverso per esempio PLC, le informazioni sui picchi di prezzo dell’energia. La rete “domestica” dovrà permettere che i singoli elettrodomestici possano essere staccati o attaccati alla rete sulla base delle variazioni del prezzo dell’energia (l’utente risparmia e la utility controlla i picchi di carico). Le PLC quindi possono essere usate per fare il controllo degli elettrodomestici. I sensori lato elettrodomestico possono essere connessi ad un monitor via PLC e inoltre, i comandi di controllo possono essere mandati agli elettrodomestici via PLC.



SMART GRID

Applicazioni delle PLC alle Smart Grid

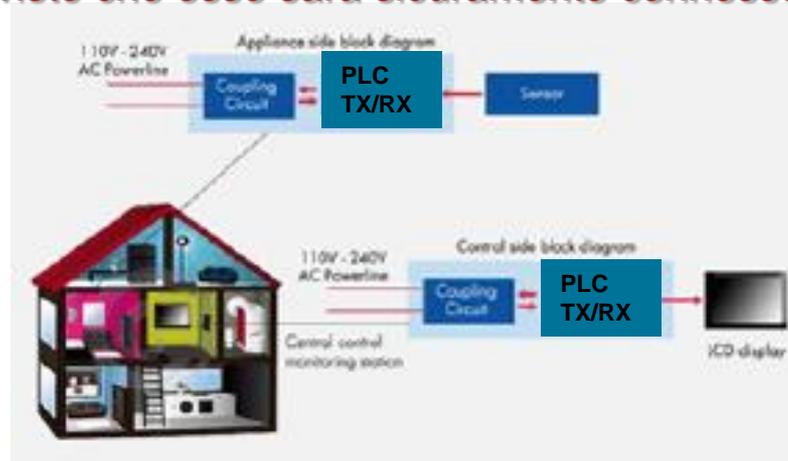
PLC nella domotica (home automation)

Tecnologia concorrente per quest'applicazione? Comunicazioni radio corto raggio basate su ZigBee.

Generici svantaggi delle soluzioni wireless:

- Necessità di una minima infrastruttura (installazione di access point)
- Le comunicazioni radio possono avere problemi nel penetrare muri o piani
- Soggetti a interferenze da parte di forni a microonde, telefoni cordless, o dispositivi Bluetooth (usano bande non licenziate)

La PLC possono raggiungere ogni elettrodomestico anche nella posizione più nascosta della casa visto che esso sarà sicuramente connesso alla rete.



SMART GRID

Panoramica delle tecnologie PLC

	Low data rate	Medium data rate	High data rate
Data rate	1-10kbps	10kbps-1Mbps	>1Mbps
modulazione	BPSK, FSK, SFSK, QAM	PSK+OFDM	PSK+OFDM
standards	IEC61334, ANSI/EIA709.1, UPB	PRIME, G3, P1901.2	G.hn, IEEE 1901, HomePlug Av, HomePlug Green PHY, HomePlug 1.0
Range di frequenze	Fino a 500kHz	Fino a 500kHz	MHz
Applicazioni	Controllo e comando	Controllo e comando + voce	Larga banda, home networking

SMART GRID

Panoramica delle tecnologie PLC

IEEE P1901 sia per indoor (in-home) che outdoor PLC (last mile)

- due bande di frequenza
- 2-30 MHz: rate up to 200 Mbit/s. 2-60 MHz: rate up to 545 Mbit/s
- PHY 1: Windowed OFDM con turbo coding (*da HPAV*)
- PHY 2: Wavelet OFDM con RS/CC e LDPC (*fda Panasonic HD-PLC*)
- MAC: TDMA per traffico che richiede QoS e CSMA per traffico best effort. Il MAC è indipendente dalla tecnologia. E' previsto un meccanismo di coesistenza per interoperabilità

ITU-T G.9960 (G.hn)

- PHY e MAC per dispositivi in-Home che usano power line, cavi coassiali e linee telefoniche.
- Bande di frequenza
- 2-50 MHz (opzionale 50-100 MHz): rate fino a 1 Gbit/s
- PHY: scalable windowed OFDM (2048 tones for PLC)
- MAC layer: TDMA per traffico QoS, CSMA per traffico best effort
- coesistenza con dispositivi IEEE P1901 ma non interoperabilità

SMART GRID

Panoramica delle tecnologie PLC

IEEE P1901.2: *appena iniziato*

- a banda stretta (<500 kHz) PLC standard sia per linee AC che DC:
 - BT indoor/outdoor, ma anche MT sia in ambito urbano che lunghe distanze per comunicazioni rurali
- data rate scalabili fino a 500 kbps
- Applicazioni:
 - AMI, gestione dei dispositivi locali di generazione dell'energia (micro-invertitori)
 - Stazioni per la ricarica dei veicoli elettrici
 - In-home networking per comando e controllo

ITU-T G. hnem: *cominciato nel 2010*

- MAC & PHY per gestione dei consumi dentro le case, solo a BT

SMART GRID

Bande di frequenza

