

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
SEDE DI CESENA
SECONDA FACOLTÀ DI INGEGNERIA CON SEDE A CESENA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA E
TELECOMUNICAZIONI**

**Sistemi di comunicazione a onde convogliate:
Studio e analisi comparativa**

Elaborato in Telecomunicazioni

Relatore: Prof. Luca Roffia

Presentata da: Massimo Rocchi

Sessione II
Anno Accademico 2011/2012

Parole chiave:

- Powerline Communications
- Onde convogliate
- HomePlug Powerline Alliance
- IEEE 1901
- OFDM
- Spread Spectrum
- CENELEC EN50065-1
- CENELEC prEN50561-1

Indice

Introduzione	VII
Capitolo 1 Storia delle Plc	1
1.1 Dagli anni '20 agli anni '60.....	1
1.2 Dagli anni '70 agli anni '90.....	3
1.3 Dal 2000 in poi.....	5
1.3.1 Il caso tedesco.....	5
1.3.2 Il caso svizzero.....	8
1.3.3 Il caso francese.....	9
1.3.4 Il caso giapponese.....	11
1.3.5 Il caso statunitense.....	12
1.3.6 Altri paesi nel mondo.....	13
1.4 Le plc in Italia.....	14
1.4.1 Il progetto Digital PowerLine a Milano.....	14
1.4.2 Il progetto Speedy a Brescia.....	15
1.4.3 L'esperimento Enel di Grosseto.....	15
Capitolo 2 Tecnologia e Standard	17
2.1 Il principio di funzionamento.....	17
2.2 La normativa e le frequenze.....	18
2.3 Gli standard sul mercato.....	20
2.3.1 Applicazioni a banda stretta.....	20
2.3.2 Applicazioni a banda larga.....	26
Capitolo 3 Tecniche di trasmissione	29
3.1 Applicazioni a banda stretta.....	29
3.1.1 Modulazioni numeriche tradizionali.....	29
3.1.2 Spread Spectrum.....	35
3.2 Applicazioni a banda larga.....	39
3.2.1 OFDM.....	39
3.3 Media Access Control Layer.....	43
3.3.1 Elementi fondamentali e topologia della rete.....	43
3.3.2 Servizi.....	44
3.3.3 Sistema di trasmissione.....	45
3.3.4 Disturbi.....	45
3.3.5 Analisi dei protocolli MAC.....	45
3.3.6 Organizzazione del MAC.....	46

Capitolo 4 Le linee elettriche alle alte frequenze	48
4.1 Comportamento della rete elettrica esterna in bassa tensione.....	49
4.1.1 Topologia della rete.....	49
4.1.2 Propagazione del segnale e attenuazione.....	50
4.1.3 Rumore.....	52
4.2 Comportamento della rete elettrica interna in bassa tensione.....	55
4.2.1 Topologia della rete.....	55
4.2.2 Propagazione del segnale e attenuazione.....	55
4.2.3 Rumore.....	57
4.3 Altri aspetti.....	58
4.3.1 Variazione dell'impedenza.....	58
4.3.2 Modelli di canale e circuito equivalente plc.....	59
4.3.3 Metodi di accoppiamento.....	60
 Capitolo 5 Compatibilità elettromagnetica	 62
5.1 Livelli standard delle emissioni elettromagnetiche.....	62
5.2 L'esperimento di NOR.WEB DPL a Manchester.....	64
5.3 Disturbi causati dai sistemi plc.....	66
5.3.1 Gli effetti della propagazione in campo vicino.....	66
5.3.2 Gli effetti della propagazione ionosferica e orizzontale.....	69
5.3.3 Servizi sensibili alle interferenze dei sistemi plc.....	74
5.3.4 Metodi per ridurre le emissioni.....	75
5.4 Definizione di normative adeguate.....	77
5.4.1 La FCC Part 15 negli Stati Uniti.....	78
5.4.2 L'NB30 in Germania.....	79
5.4.3 L'MPT 1570 in Gran Bretagna.....	80
5.4.4 Il chimney approach.....	81
5.4.5 Definizione di una normativa unica a livello europeo.....	83
 Capitolo 6 Applicazioni e prodotti sul mercato	 88
6.1 Applicazioni commerciali.....	88
6.1.1 Il sistema WRAP Merloni-Ariston.....	89
6.1.2 Il Telegestore ENEL.....	90
6.1.3 Il sistema MyHome di Bticino.....	91
6.1.4 Il sistema Central Test di Beghelli.....	92
6.1.5 Il sistema SunnyBoy di SMA.....	93
6.1.6 Il sistema PowerDom di D-Tech Electronic.....	93
6.1.7 Il sistema Minos System di UMPI.....	95
6.2 Prodotti per applicazioni a banda larga.....	97
6.2.1 Aztech.....	97
6.2.2 Belkin.....	98
6.2.3 Devolo.....	99

6.2.4 Digicom.....	99
6.2.5 D-Link.....	100
6.2.6 Edimax.....	101
6.2.7 Hamlet.....	102
6.2.8 Intellinet.....	102
6.2.9 Netgear.....	103
6.2.10 Sitecom.....	104
6.2.11 Tabella comparativa degli adattatori Ethernet.....	104
6.3 Prodotti per applicazioni a banda stretta.....	107
6.3.1 ADD Semiconductor.....	108
6.3.2 Ariane Controls.....	109
6.3.3 Cypress.....	110
6.3.4 Echelon.....	112
6.3.5 Maxim Integrated.....	114
6.3.6 Semitech Semiconductor.....	115
6.3.7 ST Microelectronics.....	115
6.3.8 Texas Instruments.....	116
6.3.9 Tabella comparativa dei SoC/Transceivers.....	117
Capitolo 7 Lo sviluppo delle PLC.....	119
7.1 Lo sviluppo nelle aree geografiche del mondo.....	119
7.1.1 Centro e Sud America.....	119
7.1.2 Europa orientale.....	120
7.1.3 Africa.....	120
7.1.4 Asia.....	120
7.2 Lo sviluppo nelle aree di mercato.....	121
7.2.1 Servizi in ambito energetico.....	121
7.2.2 Servizi di telecomunicazioni.....	122
7.2.3 Servizi in-home.....	124
7.3 Confronto con le altre tecnologie.....	125
7.3.1 Confronto per caratteristiche.....	125
7.3.2 Integrazione tra le plc e le altre tecnologie.....	133
7.4 Progetti e organizzazioni.....	136
7.4.1 Il progetto PALAS.....	136
7.4.2 Il progetto OPERA.....	137
7.4.3 Le associazioni dei produttori.....	137
Conclusioni.....	138
Ringraziamenti.....	140
Indice dei nomi.....	141
Indice delle figure.....	146
Bibliografia.....	150

Introduzione

Le Powerline Communications, note anche come sistemi di trasmissione su linee elettriche, riguardano la possibilità di trasmettere dati codificati sulle linee elettriche esistenti, utilizzando una modulazione che è basata sul principio delle onde convogliate.

Già da molti anni si parla di questi sistemi di trasmissione e ancora oggi l'interesse generale è molto alto in quanto presentano diversi vantaggi e grandi potenzialità.

Il vantaggio principale è quello di poter utilizzare per la trasmissione dei dati le linee elettriche già presenti sul territorio senza doverne costruire altre nuove, ciò significa che vengono annullati i costi per il cablaggio e l'installazione e si può sfruttare il notevole livello di distribuzione della rete elettrica presente sul territorio.

È possibile raggiungere anche le abitazioni che si trovano in luoghi isolati (ma dotate di fornitura di energia elettrica) come una casa in montagna e quelle dove l'installazione di altre tecnologie risulta difficoltosa, inoltre è possibile offrire servizi ad alto contenuto tecnologico anche ai paesi meno sviluppati dove attualmente gli investimenti sono scarsi, quindi considerando che la rete elettrica è diffusa praticamente ovunque se ne intuiscono le enormi potenzialità e il numero degli utenti interessati.

Per le compagnie elettriche si prospettano guadagni remunerativi, in quanto potrebbero ricoprire anche il ruolo di Internet provider e potrebbero offrire agli utenti servizi migliori per l'accesso ad internet rispetto agli attuali operatori, dal momento che la capacità di trasmissione teorica è tra 100 e 200Mbps e non ci sono costi aggiuntivi per l'installazione.

L'utilizzo delle Powerline per molti anni è stato limitato alle basse frequenze con bit-rate modesti, riguardante soltanto alcune applicazioni nell'ambito dell'home automation, la telelettura del contatore o il controllo a distanza di impianti come quello di climatizzazione o di allarme, in quanto le linee di trasmissione originariamente erano state concepite per uno scopo diverso che è la distribuzione di energia elettrica.

Prevalentemente lo sviluppo si è avuto nella parte in bassa tensione delle linee: all'interno delle abitazioni e per la copertura dell'ultimo miglio, che rappresenta il tratto finale delle linee compreso tra le abitazioni e l'ultima sottostazione di trasformazione.

Si possono utilizzare per la realizzazione di LAN (Local Area Network) in sostituzione degli attuali doppini di rame, ma è anche possibile integrarle con altre reti già esistenti senza doverle sostituire.

Per molto tempo la tecnologia Powerline è stata sottoutilizzata, ma considerando la deregulation nella fornitura di servizi di telecomunicazioni e nella distribuzione dell'energia elettrica, oltreché l'utilizzo di valide tecniche di sfruttamento del canale come l'OFDM, negli ultimi anni sono nati progetti caratterizzati da elevati flussi trasmissivi, con bande di lavoro fino a 30MHz e aventi capacità di collegare reti locali che si trovano anche a grandi distanze tra loro (Wide Area Network e Metropolitan Area Network).

Lo scopo della tesi è quello di presentare un quadro generale per potersi rendere conto del livello attuale raggiunto dalla tecnologia e delle sue applicazioni, ma anche quello di affrontarne le problematiche per capire quali possano essere le soluzioni migliori che ne consentano un ulteriore sviluppo.

Nel capitolo iniziale si ripercorre la storia delle plc, con i progetti che sono stati intrapresi nei vari paesi del mondo e in Italia, con l'esperimento condotto dall'ENEL a Grosseto oltre a quelli di Milano e Brescia, poi si studieranno la tecnologia e gli standard sviluppati a partire da quelli iniziali per arrivare fino all'ultimo che è l'IEEE 1901.

Nel capitolo delle tecniche di trasmissione si parlerà dello Spread Spectrum utilizzato per trasmettere su tutta la banda, dell'OFDM come tecnica di modulazione innovativa e del MAC che comprende le regole per avere un corretto accesso degli utenti al mezzo fisico.

Dopodichè si studierà il comportamento delle linee elettriche alle alte frequenze (linea interna e linea esterna in bassa tensione) facendo considerazioni sull'attenuazione, il rumore e la propagazione del segnale: lavorare alle alte frequenze è necessario se si vogliono ottenere bit-rate elevati, anche se si possono verificare alcuni inconvenienti.

Il capitolo 5 ha proprio lo scopo di affrontare le problematiche inerenti alla compatibilità elettromagnetica con altri sistemi, cercando di capire quali possono essere i metodi per la riduzione delle emissioni di radiazioni, di studiare le normative vigenti nei principali paesi e di rendersi conto del processo in atto per la definizione di una normativa unica.

Infine, dopo una panoramica sulle applicazioni e i prodotti presenti sul mercato, nel capitolo conclusivo si farà un bilancio finale su vantaggi e inconvenienti, dove si terrà conto anche di un confronto con tecnologie alternative (doppino, fibra ottica, wireless, etc.), per capire se vale la pena continuare a investire su questi sistemi e quali possono essere gli scenari futuri.

Considerando però la dinamicità degli eventi col verificarsi di numerosi esperimenti e progetti, lo sviluppo di nuove tecniche di trasmissione e le modifiche alle normative, la situazione che viene presentata non è ancora quella definitiva. [1][2]

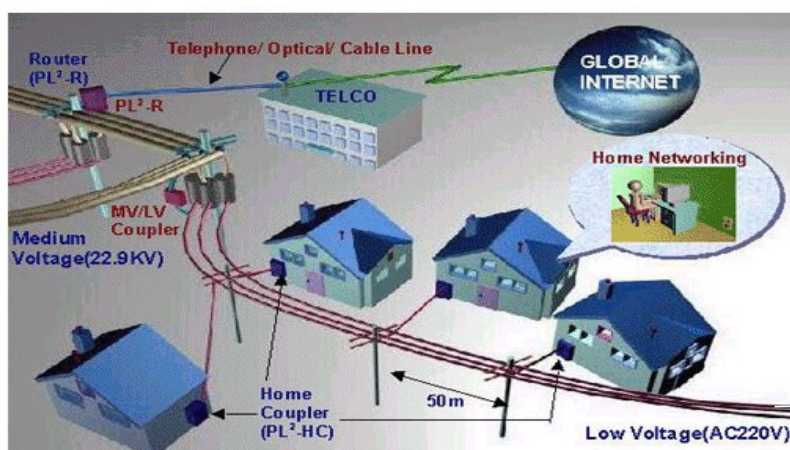


Figura I.1: Esempio di sistema di comunicazione plc [62]

Capitolo 1 Storia delle PLC

1.1 Dagli anni '20 agli anni '60

L'idea di sfruttare le linee di trasmissione dell'energia elettrica per scopi alternativi rispetto a quello per cui sono state progettate non è nuova e trova le sue prime applicazioni a partire dagli anni '20 del secolo scorso, con prospettive vantaggiose dal momento che il mezzo trasmissivo era già pronto per l'uso.

In quegli anni l'installazione di cavi pilota comportava costi piuttosto alti, così si è iniziato a pensare di utilizzare i cavi dell'alta tensione come alternativa, soprattutto nelle aree più remote dove si raggiungevano distanze anche di centinaia di chilometri, con lo scopo di effettuare un controllo e un monitoraggio remoto della rete, prendendo però già in considerazione l'ipotesi di trasmettere anche la voce.

Generalmente le comunicazioni elettriche venivano effettuate sopra gli 11KV con collegamenti da punto a punto tra le sottostazioni della rete e le frequenze utilizzate erano entro i 150KHz(CENELEC EN50065-1).

Sia le linee che i trasformatori provocavano rilevanti attenuazioni sui segnali, ma anche l'intensità dei segnali irradiati era un problema da affrontare con cura, infatti la scelta delle frequenze di lavoro doveva avvenire in modo tale da non interferire con i servizi già presenti come il supporto alla navigazione aerea o la radiodiffusione e solo le applicazioni con brevi slot temporali potevano avere livelli di potenza e frequenze proibite ai sistemi di telemetria o di traffico voce.

Negli anni '50 trova larga diffusione l'impiego di sistemi in bassa frequenza su linee di alta tensione per la trasmissione di segnali riguardanti il monitoraggio, il controllo remoto e la voce, nonostante i costi elevati dovuti ai dispositivi di accoppiamento con le linee elettriche.

Il costo di questi sistemi di accoppiamento era causato dal fatto che dovevano essere installati sia in serie che in parallelo con i circuiti di alta tensione: le bobine di blocco in serie avevano la funzione di trasferire il carico sulle linee elettriche e sostenere il livello di corrente mentre gli accoppiatori capacitivi dovevano sostenere le tensioni; il loro impiego comunque era sempre più conveniente rispetto alla soluzione dei cavi pilota.

Per le tecniche di trasmissione erano disponibili sia quella fase-fase che quella fase-terra, con la prima che offriva una minor attenuazione, un miglior rapporto segnale-rumore, minori variazioni del livello di attenuazione dovute alle condizioni atmosferiche e un minor livello di segnali irradiati.

Nel sistema fase-terra la perdita del conduttore di fase comportava anche la perdita del segnale, mentre nel fase-fase solo un lieve aumento dell'attenuazione, in generale il sistema fase-fase era il prescelto, anche se aveva un costo maggiore dovuto alla quantità doppia degli accoppiatori in alta tensione.

Le reti finora discusse presentavano una solida struttura per le comunicazioni elettriche e scarse discontinuità, nonostante ciò era rilevante l'interferenza dovuta al rumore, causata soprattutto da archi elettrici e influenzata negativamente dalle cattive condizioni atmosferiche: l'effetto era una riduzione del rapporto segnale-rumore che si manteneva buono solo su lunghezze comprese entro i 185km.

In alternativa alla tecnica degli 11KV, si è poi sviluppata quella del Ripple Control, che inviava toni ad audio frequenza sul segnale elettrico in bassa tensione per trasmettere semplici comandi on/off.

Con questa tecnica(1°studio: Davos 1929) la frequenza principale veniva modulata con dei burst di segnale ad audio frequenza, ognuno dei quali lungo diversi cicli rispetto ad essa: un certo numero di questi burst in seguito veniva unito per costituire un segnale codice che poteva essere ricevuto e decifrato lungo la rete.

Era possibile avere più servizi sullo stesso sistema, avendo diverse audio frequenze con circuiti accordati nel ricevitore che rilevavano solo i segnali delle applicazioni a cui erano destinatari e gli impieghi riguardavano l'accensione e lo spegnimento di lampioni per l'illuminazione pubblica, il riscaldamento e i contatori.

I dispositivi Ripple Control rimangono in produzione dalla Landys and Gyr fino alla fine degli anni '60, ma per via dei costi dell'equipaggiamento e della manutenzione già verso la fine degli anni '50 si va alla ricerca di sistemi più pratici ed economici e tecniche per rendere le trasmissioni meno sensibili ai disturbi e alle interferenze.

La tecnica Peak Depression non modulava il segnale in modo continuo a 50/60Hz ma lo rendeva discreto in una zona limitata intorno a zero volt: in corrispondenza di punti precisi sull'onda di tensione si avevano per alcuni microsecondi picchi di corrente di 200/300A, di cui una parte venivano utilizzati per formare un telegramma costituito da 3 impulsi posizionati nel sedicesimo ciclo del segnale a 50/60Hz.

Con la tecnica Cyclocontrol invece si aumentava la complessità della codifica per migliorare l'indirizzamento: si avevano a disposizione 165 indirizzi discreti in 34 cicli con quattro possibili istruzioni.

Nel 1936 i Bell Telephone Laboratories considerano la possibilità di utilizzare le linee elettriche per offrire il servizio telefonico ai clienti delle zone più rurali degli Stati Uniti. L'idea di lavorare in banda base viene scartata perché era richiesta una potenza troppo alta per sovrastare il rumore, così si inizia a lavorare con frequenze tra i 150 e i 450 KHz, in quanto sotto i 150 KHz si avevano problemi di accoppiamento, mentre sopra i 455 KHz l'attenuazione e l'interferenza dovuta alle stazioni radio diventava elevata.

Il sistema ottenuto, progettato per lavorare sulla rete di distribuzione rurale americana, era costituito da un conduttore monofase a 7KV e 60Hz, con un filo neutro in basso in parte interrato e poteva coprire distanze fino a 30km circa.[3]

1.2 Dagli anni '70 agli anni '90

Negli ultimi trent'anni del secolo scorso le compagnie elettriche in collaborazione con alcune università, sulle bande di frequenza stabilite dal CENELEC, si sono concentrate sull'automazione delle funzioni di distribuzione, come la lettura automatica del contatore, il controllo selettivo del carico e la gestione a distanza della rete.

Lo scopo era quello di sviluppare un sistema capace di cambiare la forma della curva di assorbimento degli utenti.

Stabilizzando questa curva e rendendo la richiesta di energia il più possibile costante e diffusa su tutto l'arco della giornata si avrebbero avuti impianti più economici da gestire, compensando la maggiore complessità con minori costi di produzione.

Inoltre un altro vantaggio introdotto era la possibilità di implementare servizi aggiuntivi costosi da realizzare singolarmente, come la lettura automatica del contatore o il monitoraggio continuo della rete.

Gli studi effettuati hanno consentito una migliore conoscenza della rete e delle sue caratteristiche anche se prevalentemente non hanno portato a prodotti dal grande successo commerciale per via del basso rapporto costi/benefici, di seguito si riportano i più importanti:

- ⤴ A metà degli anni '70 la compagnia elettrica del Wisconsin (USA) realizza un sistema sulle sue linee di distribuzione che consente una completa gestione dei carichi e una lettura remota dei contatori di luce, acqua e gas, grazie ad un apposito trasponder domestico che gestisce 4 diversi tipi di carico e di 3 contatori.
- ⤴ All'inizio degli anni '80 South Eastern Electricity Board (GB) sviluppa un dispositivo nominato CALMS (Credit And Load Management System) che comprende un terminale domestico "intelligente" in grado di utilizzare diversi mezzi di comunicazione (non solo le linee elettriche) per aumentare lo scambio di informazioni tra l'utente e il gestore dell'energia. I servizi offerti riguardavano la misura e la registrazione della domanda e del suo picco, la selezione remota delle tariffe, le informazioni sui carichi e sui consumi per la pianificazione e il controllo della rete, il controllo remoto di consumi e tariffe, la lettura remota di 3 contatori, i pagamenti a distanza, la limitazione dei carichi per rientrare in un certo tipo di tariffazione o come servizio minimo di emergenza e il sopperimento alla mancanza di collegamenti di terra nelle abitazioni degli utenti.
- ⤴ Verso la fine degli anni '80 il consorzio inglese THORN EMI, operante in ambito energetico, collauda un sistema di telecontrollo basato su un microprocessore che utilizza una modulazione Spread Spectrum, con lo scopo di migliorare i problemi inerenti al rumore della rete di distribuzione in bassa tensione. I servizi proposti erano: registratore multi tariffa per i contatori, funzioni di controllo e switch remoti per riscaldamento acqua e ambienti, registrazione dell'assorbimento su tutte le 24 ore per l'analisi delle variazioni dei carichi, visualizzazione nel tempo del consumo di luce, acqua e gas con previsione di spesa e rilevamento di manomissioni.

- ⤴ A fine anni '80 l'Enel, con la collaborazione di aziende del gruppo IRI-STET, conduce un esperimento sulla rete per verificare la possibilità di usare le linee in bassa tensione come mezzo per la trasmissione dati e ottimizzare l'uso delle risorse per generare energia elettrica e controllarne il consumo da parte degli utenti. I servizi proposti erano: 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 e rilevazione di eventuali tentativi di manomissione.

- ⤴ Tra gli anni '80 e '90 in Olanda e Svizzera Datawatt sviluppa il sistema Robcom basato sulla tecnica Spread Spectrum Frequency Hopping, che lavorava sulle linee in bassa tensione per la gestione dei carichi e su quelle a media per automatizzare la distribuzione. I servizi erano: monitoraggio del flusso di energia lungo la rete, localizzazione dei guasti, misura e controllo continuo del livello di tensione in alcuni punti della rete, commutazione delle tariffe, cicli di carico, perdite di carico, lettura remota del contatore, localizzazione guasti.

- ⤴ All'inizio degli anni '90 la compagnia inglese NORWEB operante nel settore dell'energia elettrica, con la collaborazione di Open University, dà avvio al progetto Powerline Communications, che come i precedenti doveva gestire il carico e la lettura remota del contatore, ma queste funzioni non erano sufficienti a giustificare gli ingenti investimenti effettuati, così si comincia a pensare ad altri servizi come il trasferimento di voce e dati. Per fare ciò però era necessario lavorare con bit-rate maggiori rispetto a quelli corrispondenti alle bande di frequenza assegnate dal CENELEC, così si comincia a considerare l'ipotesi di utilizzare frequenze maggiori di 1MHz in bassa tensione. A Manchester con esiti positivi viene realizzata una rete telefonica su linea elettrica, utilizzando la tecnologia CT2 e dotata di equipaggiamenti telefonici prodotti da NORTEL Networks, poi la fusione delle due aziende nel 1998 ha come scopo la commercializzazione di un servizio internet ad alta velocità su linee elettriche con frequenze superiori ad 1 MHz. Alla fine per mancanza di fondi il progetto non si concretizza, altre aziende negli anni seguenti hanno lavorato a progetti per lo sfruttamento della rete in bassa tensione, con annesso aumento di frequenze di lavoro e di flussi trasmissivi, ma nessuno è risultato decisivo per arrivare ad un largo impiego delle plc. Nonostante ciò le potenzialità della tecnologia così come gli interessi in gioco sono rimasti alti e negli ultimi anni sono continuati gli esperimenti in vari paesi.[3]

1.3 Dal 2000 in poi

In questa parte si propone una selezione dei progetti più significativi che sono stati condotti nell'ultimo decennio, intanto si può già fare una prima classificazione che vede contrapposte l'Europa con la Germania nel ruolo di guida e gli Stati Uniti.

In varie città tedesche sono stati condotti progetti-pilota da parte di Ascom e Oneline AG, quest'ultima con la collaborazione di Enikia e VEBA per la copertura dell'ultimo miglio, mentre negli Usa le due principali associazioni (HomePlug Powerline Alliance e il CEA R-7.3 Committee) si sono concentrate più sull'utilizzo della tecnologia all'interno delle abitazioni. [4][5][6]

La spiegazione di questa scelta risiede nel numero di abitazioni servite da ogni trasformatore che sono 5/10 negli Stati Uniti e circa 150 in Europa.

Dal momento che il segnale delle plc non può attraversare i trasformatori, in ogni sottostazione deve essere installata una particolare apparecchiatura per il supporto del segnale, quindi è evidente come a parità di utenti serviti negli Stati Uniti i costi di installazione per effettuare la copertura dell'ultimo miglio siano più difficili da ammortizzare. [7]

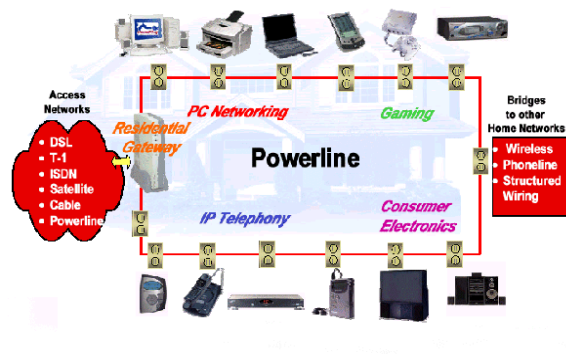
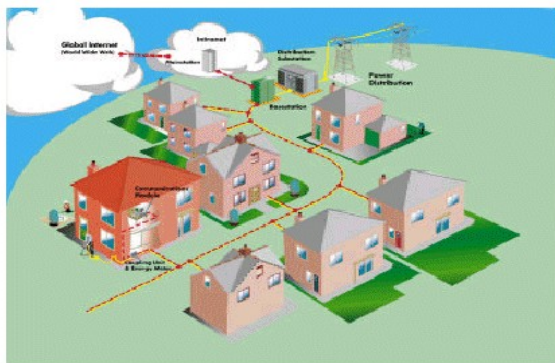


Figura 1.1: PLC per la copertura dell'ultimo miglio [5] e Figura 1.2: PLC per la realizzazione di reti LAN [6]

1.3.1 Il caso tedesco

La Germania è il paese europeo in cui si è verificato lo sviluppo maggiore delle plc: il debutto della tecnologia è avvenuto nel luglio 2001 e le società pionieri sono state la RWE Powerline e la MVV a Manheim, che hanno proposto in commercio offerte di accesso ad internet basate sulle plc.

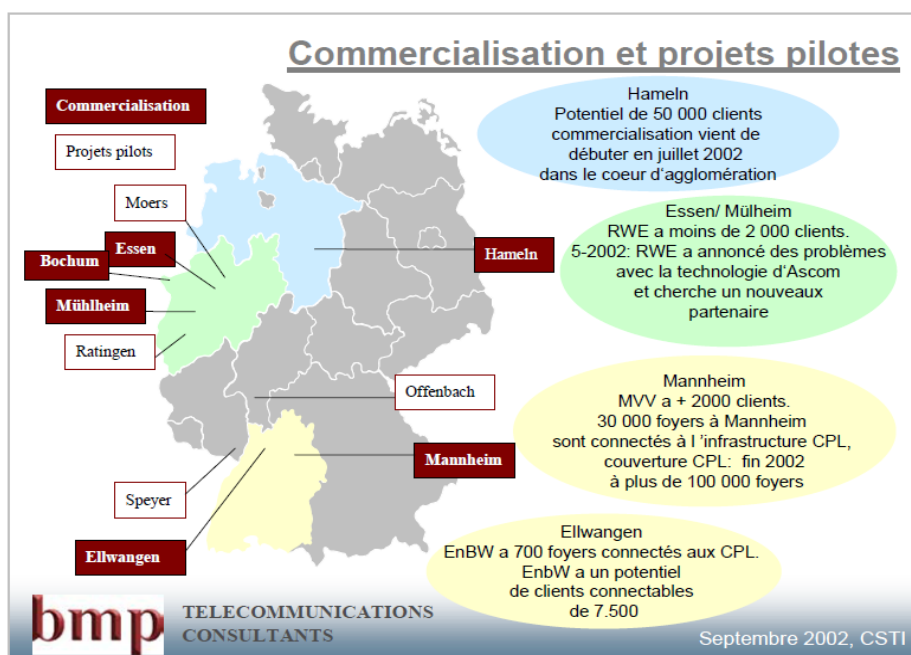


Figura 1.3: I progetti più importanti realizzati in Germania [8]

La RWE è la principale società tedesca nel settore energetico, creata nel 1898 ad Essen è un gruppo “multi-utility” che fornisce servizi per la fornitura di energia elettrica, acqua, gas e rifiuti e cerca di innovare nell'ambito dei servizi per le telecomunicazioni.

RWE Powerline lancia un'offerta per internet ad alta velocità a partire dal luglio 2001 nelle città di Essen e Mulheim, ma con l'intenzione poi di allargarla anche alla altre città, con una velocità di trasmissione dati di 2Mbps, cioè tra le 15 e le 30 volte maggiore di una normale connessione Isdn del tempo.

L'offerta principale si chiamava Powernet, ma c'erano anche quelle per la scuola e per la domotica, nell'ottica di fornire una banda sufficiente a trasmettere e ricevere dati, video, audio e di avere una connessione continua come nella tecnologia xDSL.

Inizialmente le tariffe erano basate sull'utilizzo, ma a partire dal gennaio 2002, viene stabilita una sola tariffa di 100Euro per i trasferimenti e l'installazione più 153Euro per il modem: lo scopo era quello di non discostarsi dalle offerte flat xDSL.

Per la trasmissione i dati venivano trasferiti con i cavi dell'alta tensione e poi venivano decodificati da un particolare trasformatore collocato nelle centrali locali, ognuno dei quali poteva gestire il traffico di circa 200 abitazioni.

Dalle centraline locali venivano portati alle abitazioni sulla linea in bassa tensione, dopodiché venivano interpretati da modem prodotti dalla società svizzera ASCOM che era la fornitrice degli equipaggiamenti.

ASCOM inoltre aveva risolto i problemi che si erano presentati al tempo del progetto di NORWEB in merito alle irradiazioni e alla sicurezza.

Per le irradiazioni prima si trasmetteva il segnale sul cavo a onde lunghe nella banda utilizzata per le comunicazioni militari, così la Royal Communication Commission aveva bloccato il progetto per ragioni politico-militari, invece RWE utilizzava un sistema a banda corta che non si sovrapponeva alle frequenze militari, perciò il Consiglio Federale tedesco diede l'approvazione.

Sulla sicurezza l'Autorità tedesca per il controllo e la certificazione di nuove tecnologie aveva ritenuto il sistema Powerline RWE ancora più sicuro della trasmissione attivata con il wap del gsm, dunque anche se restavano alcuni problemi sulla regolamentazione quelli principali sembravano essere stati risolti.

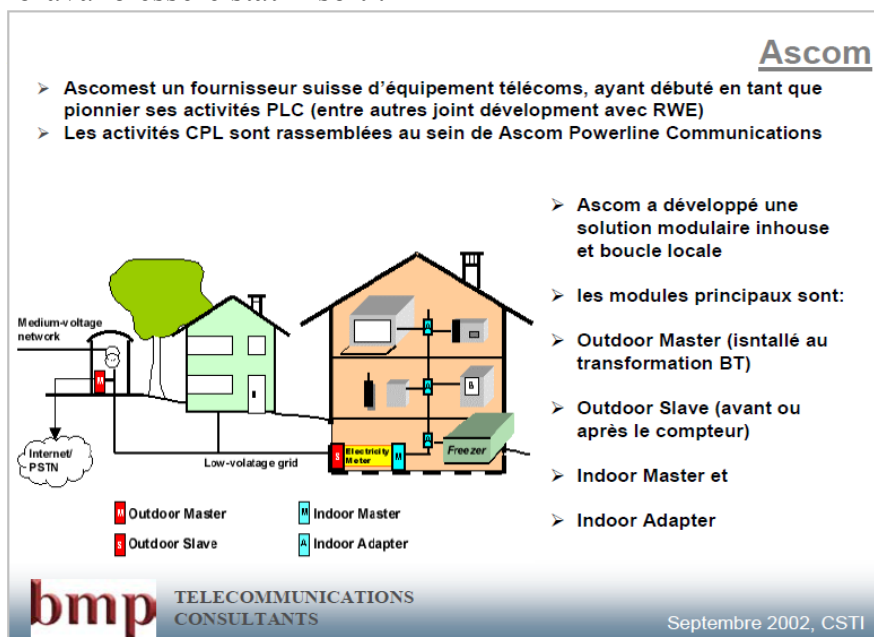


Figura 1.4: L'infrastruttura di RWE Powerline realizzata da ASCOM [8]

A parte ciò il gruppo tedesco decise di ritirarsi dai giochi nel settembre 2002 con l'abbandono del progetto, attribuendo all'instabilità della rete e ad alcuni difetti dei modem le motivazioni, ma in base ai commenti positivi fatti dagli utenti ci si rende conto che l'offerta era valida tanto che poteva creare non pochi problemi con il suo prezzo concorrenziale a chi offriva connessioni a banda larga.

Le vere motivazioni dunque si potevano collegare alla prevalenza degli interessi di una certa parte del mercato, ma anche al fallimento degli obiettivi economici che si era prefissata l'azienda, infatti contava di raggiungere la quota di 20000 clienti a fine 2001, riuscendo a coinvolgerne soltanto 2000.

Dopo l'abbandono di RWE continuò invece ad operare EnBW nel Baden-Württemberg (Germania sud-occidentale), che dal settembre 2001 iniziò a proporre ai residenti di Ellwangen un'offerta per navigare in internet ad alta velocità con 2Mb/s. Inizialmente però su 25000 abitanti ottenne solo 1000 clienti (inferiori rispetto a quelli dell'ADSL) e per rimanere ancora sul mercato si preparò a definire meglio la sua strategia commerciale.

Infine la MVV di Manheim ha commercializzato sempre dal settembre 2001 un accesso ad internet con velocità di 1.1Mb/s e tariffe comprensive di 119Euro per l'installazione e costo mensile variabile in base all'uso.

Utilizzava la tecnologia del gruppo israeliano main.net e già nel 2002 poteva contare 3000 clienti, perciò annunciò che anche negli anni seguenti sarebbero continuati gli investimenti, oltre a quelli che già faceva nelle fibre ottiche.[4][8] [9]

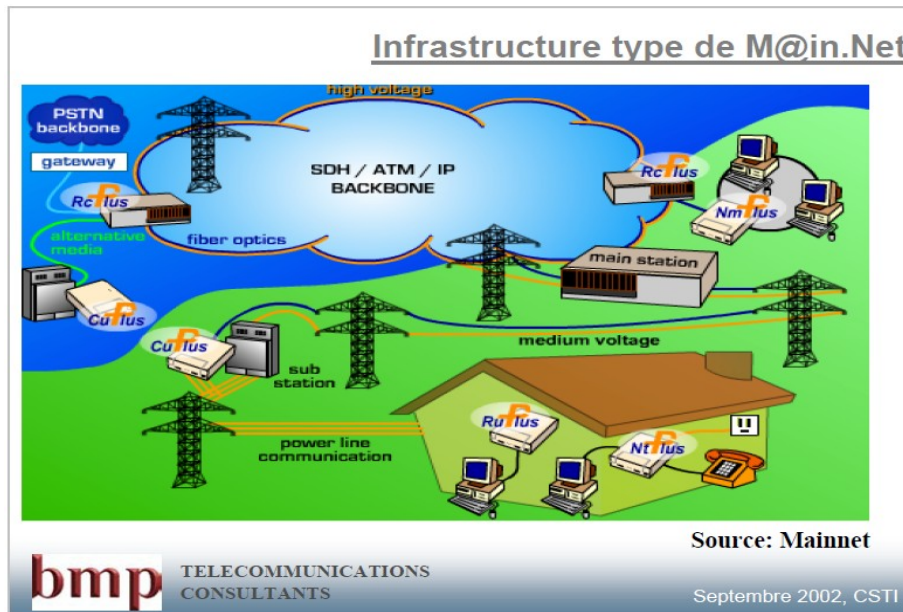


Figura 1.5: L'infrastruttura di MVV realizzata da main.net [8]

1.3.2 Il caso svizzero

La società svizzera ASCOM ha sempre nutrito forti ambizioni e insieme a main.net è una delle aziende leader di mercato nelle tecnologie di connessione su rete elettrica, che possono permettere alle aziende elettriche del mondo di competere con i relativi fornitori di connettività. Nonostante il ritiro di partner importanti come RWE e il mancato interessamento di società come la Siemens, l'azienda ha continuato a sviluppare la tecnologia, risolvendo inoltre problemi che avevano determinato il fallimento di altri progetti come quello di NORWEB.

In seguito l'azienda ha iniziato ad espandersi in Europa, Sud America e Sud-Est Asiatico con una produzione di 100000 modem l'anno a partire dal 2001.

Gli adattatori di energia prodotti hanno la funzione di convertire i segnali dati della rete a banda larga in frequenze che possono essere trasmesse sui cavi elettrici, mentre i modem ad hoc si occupano di tenere separati in casa i dati e la corrente.

La velocità di trasmissione dei primi modem poteva raggiungere i 2Mb/s (ora fino a 200Mb/s) e quindi era molto più veloce della tradizionale Isdn, si può accedere da qualunque presa, non è richiesto un cablaggio aggiuntivo e l'accesso ad internet è possibile in modo continuato.

ASCOM, anche dopo la fine del rapporto con RWE, ha continuato a collaborare con importanti aziende europee come ENEL in Italia e EDF in Francia, ha respinto l'accusa della società tedesca di produrre modem non sufficientemente stabili nella connessione, anzi ha sviluppato una nuova tecnologia: DPL Digital Powerline Communications che segue i criteri legislativi e di sicurezza in vigore a livello europeo.[9]

Sul fronte degli esperimenti nel 2001 l'azienda di Berna e FEW (Aziende elettriche friburghesi) hanno raggiunto un accordo sull'utilizzo della tecnologia powerline a Friburgo, dal momento che uno studio di mercato effettuato nel cantone omonimo aveva rilevato una considerevole domanda in merito all'accesso ad internet ad alta capacità da parte di privati e piccole-medie imprese.

Nella prima fase l'offerta denominata "sunrise powernet" veniva lanciata in alcune aree urbane per poi essere estesa anche alla periferia: le FEW gestivano la rete mentre il provider Sunrise si occupava dei servizi (internet, posta elettronica, spazio web).

Per i costi si oscillava tra i 69 e i 309 franchi al mese in base al servizio più 420 franchi per il modem necessario, ma l'accesso ad internet era ultrarapido con velocità fino a 20 volte maggiori rispetto all'ISDN.[10]

1.3.3 Il caso francese

Nel luglio 2001 il governo francese annuncia un importante piano per estendere la velocità e la banda larga a tutto il paese entro 5 anni, veniva previsto un finanziamento di 3 mila miliardi di lire destinato alle comunità locali le quali dovevano provvedere alla costruzione delle infrastrutture in collaborazione con Parigi.

Il Governo aveva il compito di verificare le reali possibilità della connessione veloce su rete elettrica, mentre della rete stessa si occupava un'agenzia speciale in collaborazione con EDF (Electricité de France) per valutare i costi e i benefici.[9]

Sono stati poi eseguiti numerosi esperimenti in diverse località del paese che in alcuni casi hanno portato anche ad un'offerta commerciale.

A Castres-Mazamet dal giugno 2007 gli internauti potevano beneficiare di una connessione ad alta velocità che utilizzava la tecnologia CPL (Courants porteurs en ligne).

La società che forniva le connessioni era InterMediaSud e lavorava in collaborazione con EDF che invece forniva i trasformatori.

Concretamente la realizzazione della rete CPL avveniva sugli ultimi km che separavano l'infrastruttura degli operatori telefonici (fibre ottiche) dagli abbonati e l'alta velocità veniva trasmessa a tutti gli abitanti di un quartiere con la rete elettrica.

A partire dal gennaio 2007 gli abitanti di Danquerke si potevano abbonare all'offerta ad alta velocità "Domotil" che beneficiava di due caratteristiche innovanti: la prima riguardava i prezzi moderati proposti, per es. la connessione a 512Kb/s costava 5Euro al mese, quella a 1Mb/s 8Euro, la telefonia illimitata 10Euro, la seconda invece risiedeva nella volontà di utilizzare una tecnologia all'avanguardia.

Dopo tre anni di test nell'Ile de France, nel marzo 2006 il Sipperec(Sindacato intercomunale della periferia di Parigi per l'elettricità e le reti di comunicazione) è entrato nella fase operativa, infatti la società Mecelec era stata incaricata di provvedere agli equipaggiamenti necessari per gli 86 comuni della regione che comprendono 1,5 milioni di utenti.

Dopo una serie di esperimenti riusciti condotti a Rosny sous Bois e Courbevoie, il Sipperec aveva scelto Mecelec per commercializzare un'offerta sulla rete elettrica locale, con operatori partner: si trattava di 15Euro al mese con telefonia illimitata e ci si rivolgeva al 20% degli utenti che non avevano la linea fissa e al 50% che non disponevano di un computer.

Dal 2003 a La-Haye-du-Puits, un paese di 2000 abitanti nel dipartimento della Manica, sono cominciati una serie di test che gli hanno permesso di diventare il primo villaggio dotato di una rete elettrica locale.

Il consiglio generale aveva stabilito di permettere ad ogni utente di connettersi con l'alta velocità entro il 2008, così erano stati stanziati 71 milioni di euro d'investimenti: la strategia innovante consisteva nell'utilizzare le linee ad alta tensione di RTE(Rete di trasporto dell'elettricità) per integrare una rete di fibre ottiche necessaria alla trasmissione dei dati numerici.

La Haye-du-Puits era una zona a basso potenziale per le telecomunicazioni, non servita dall'ADSL, ed era considerata uno dei 4 siti rappresentativi di casi modello definiti dal Consiglio generale.

La società incaricata di eseguire i test e di giungere allo sviluppo commerciale era la francese Schneider Electric, che in laboratorio aveva raggiunto performance di velocità di 45Mb/s, ma garantiva che nella realtà la banda passante in una rete locale sarebbe stata tra 20 e 25Mb/s.

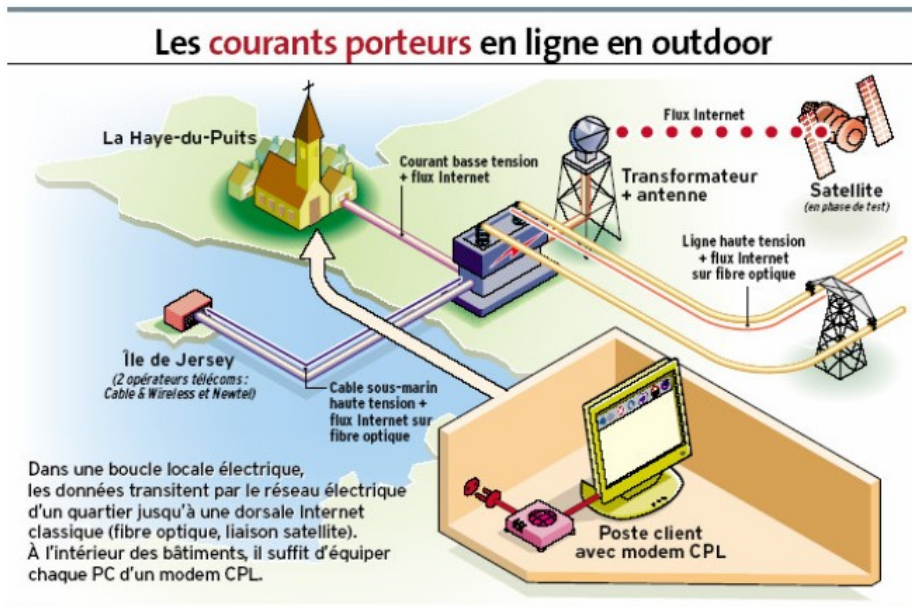


Figura 1.6: La boucle locale électrique di La Haye-du-Puits [63]

Nel febbraio 2004, nel quadro del progetto ETIC per familiarizzare i bambini con le nuove tecnologie, la città di La Mairie de Meylan aveva equipaggiato 4 gruppi scolastici con le CPL, scartando per precauzione il WiFi per la questione delle onde elettromagnetiche.

Si era optato per una soluzione di tipo DS2 proposta da Easyplug, che aveva offerto 41 modem al costo di 35000Euro, consentendo un risparmio fino al 25% rispetto ad una rete filare classica.

Sulla base di due computer per classe, l'informazione rappresentava un insieme di trenta microcomputer raccordati: la connessione avveniva mediante un modem CPL che permetteva di connettere due microcomputer, garantendo una velocità media tra gli 8 e i 15Mb/s per la rete LAN, che non si avrebbe avuto con le soluzioni HomePlug(2Mb/s).
[11]

1.3.4 Il caso giapponese

Nel 1997 le società asiatiche Matsuhita, Hitachi, Mitsubishi e Toshiba hanno formato il consorzio denominato Echonet per lo sviluppo di tecnologie e protocolli standardizzati.

Verso la fine del 1999 vengono rilasciate le prime specifiche di una rete a banda stretta per il controllo di network appliance in ambito casalingo, che poi sarebbero state promosse come standard a livello internazionale.

Le soluzioni elaborate riguardavano il collegamento tra i dispositivi intelligenti della casa con connessioni sulla rete elettrica ed altri media LON(Local Operating Network), oltre a ciò si sono previsti strumenti finalizzati al risparmio energetico di ogni dispositivo e la fornitura di interfacce verso ogni piattaforma di "info appliance", l'HAVi(Home Audio Video Interoperability) e la rete telefonica.

Le "info appliance" sono dispositivi intelligenti in grado di svolgere particolari funzioni e di connettersi ad Internet: non si tratta solo di dispositivi in ambito informatico ma di qualsiasi elettrodomestico comandato da un chip e telecomandato a distanza tramite la rete elettrica.

L'utilizzo delle info appliance si colloca all'interno dell'home networking, che negli anni ha assunto un ruolo sempre maggiore in ambito domestico, dove la rete ha un ruolo centrale e collega tutti gli elettrodomestici: proprio per questo è nato il consorzio Echonet. Già a settembre del 2000 Mitsubishi aveva realizzato un nuovo modem plc, in grado di offrire prestazioni migliori rispetto all'ADSL, con velocità fino a 3Mb/s.

Il modem, che poi è stato commercializzato dal 2001, poteva collegare fino a 5 dispositivi connessi ad altre prese di corrente, andando così a realizzare quella che in futuro sarebbe diventata una rete domestica con elettrodomestici intelligenti.[9]

1.3.5 Il caso statunitense

Come già anticipato, negli Stati Uniti si è più orientati all'utilizzo delle plc all'interno delle abitazioni piuttosto che nella copertura dell'ultimo miglio, perchè considerando il numero inferiore di abitazioni servite dai trasformatori e il fatto che il segnale non può oltrepassarli, richiedendo un'apparecchiatura speciale per ogni sottostazione, a parità di utenti serviti i costi di installazione sono più difficili da ammortizzare.

Tra il 1999 e il 2000, dopo un certo periodo di scarso interesse, si era ritornati a parlare delle powerline network, in quanto la società texana Media Fusion aveva annunciato di aver terminato gli esperimenti di una nuova tecnologia che risolveva i problemi presentati dalla DPL.

Con questa nuova tecnologia le velocità erano superiori rispetto a quelle dell'ADSL, con i dati che potevano viaggiare fino ad alcuni Mb/s, così sarebbe potuta giungere alle case e agli uffici una quantità di informazioni molto maggiore tra Internet, video, radio, HDTV, etc.

William Steward, il capo del team, aveva inventato un nuovo modo di trasportare le informazioni che rimediava ai problemi incontrati nei tentativi precedenti, infatti nel sistema detto PAN(Powerline Area Network) le informazioni non erano trasportate dalla corrente alternata bensì da un segnale a microonde che viaggiava all'esterno dei cavi e veniva guidato dal campo magnetico della corrente elettrica.

I vantaggi non erano indifferenti in quanto il segnale diventava così immune da interferenze e si potevano raggiungere le alte frequenze di lavoro richieste.

La tecnologia PAN si basava sul sistema ASCM(Advances Sub Carrier Modulation), cioè modulazione avanzata della sottoportante, che utilizzava un maser(laser di microonde) per trasportare ad alta velocità i dati sulle linee, senza le interferenze prodotte dai trasformatori e potendo raggiungere distanze maggiori rispetto alla DPL.

L'offerta finale offriva all'utente 2.5Mb/s come velocità in banda passante a fronte di un costo contenuto in 60\$.[9]

Nel 2004 ha avuto inizio il più importante progetto di sviluppo delle powerline del paese nella città di Manassas vicino a Washington DC.

Completata la fase dei test si era arrivati all'offerta commerciale: la società incaricata di fornire la connessione ai 520 residenti si chiamava Prospect Street Broadband e utilizzava la tecnologia del gruppo israeliano main.net.

Giunti al 2010 però il consiglio cittadino ha votato per porre termine al servizio a causa dei costi da sostenere per la manutenzione del sistema, che non erano compensati dai guadagni, infatti nel 2009 i sottoscrittori erano solo 51 a fronte di 637 abitanti e ciò comportava un deficit annuale di circa 166000\$.

Inoltre, un'altra ragione che ha contribuito al termine del servizio, erano le interferenze provocate dalle frequenze del segnale che si sovrapponevano a quelle utilizzate dai radioamatori, rappresentati dall'associazione nazionale ARRL.[12]

1.3.6 Altri paesi nel mondo

Anche in molti altri paesi del mondo si è cercato di sviluppare la tecnologia delle powerline, ecco una lista degli esperimenti più rilevanti:

- ⤴ Nel 2005 in Quebec(Canada) Ariane Controls ha applicato la tecnologia plc in edifici esistenti, sia all'interno che all'esterno, per controllare luci e altri dispositivi ad alto consumo energetico.I dispositivi economici consentivano un basso consumo per essere gestiti meglio e ciò permetteva di risparmiare energia e di rientrare nei costi.
- ⤴ In Svezia Vattenfall sta applicando le plc su 1200 abitazioni per la lettura automatica dei contatori, utilizzando i prodotti Iskraemeco.
- ⤴ In Russia Electro-com utilizza le plc per offrire l'accesso ad internet in diverse città come Mosca e Rostov, ma pensa di estenderne la copertura a molte altre e di allargare l'offerta anche alla telefonia e alla tv.I modem utilizzati sono prodotti da DefiDev con chip DS2, mentre i clienti sono 35000 in crescita annuale del 15-20%.
- ⤴ Nel gennaio 2006 in Romania il Ministero delle Telecomunicazioni ha introdotto un esperimento nel villaggio rurale di Mures County, con la possibilità di essere esteso ad altre zone rurali.L'offerta comprendeva telefonia e internet per 7Euro al mese.
- ⤴ Altri progetti pilota nell'Europa dell'est sono stati lanciati nel marzo 2002 a Cetinje in Montenegro, in agosto 2002 a Nis in Serbia e nel settembre 2003 a Budapest in Ungheria.
- ⤴ In Indonesia Kejora con il marchio Planet Broadband ha effettuato collegamenti con oltre 300000 abitazioni a partire dal 2010, ha ottenuto una concessione di 8 anni con ICON+, divisione della compagnia elettrica indonesiana, ed è divenuta l'industria leader del settore plc nel Pacifico Asiatico.Con l'offerta proposta per l'accesso ad internet si raggiunge fino ad un massimo di 10Mb/s per le WAN e 200Mb/s per le LAN.
- ⤴ In Australia, Cina, H.Kong, Taiwan, Indonesia, Malesia e Filippine, ma con l'intento di estendersi in altri continenti, Inova Tech ha condotto numerosi test positivi che porteranno in molti casi ad offerte commerciali e si distingue per l'integrazione di varie tecniche di telecomunicazioni e la gestione dell'energia.
- ⤴ In India IIT Allahabad ha condotto un progetto per i campus universitari e i villaggi.
- ⤴ In Egitto l'Ufficio d'Ingegneria per i progetti integrati ha disposto le plc ad Alexandria, Fayed e Tanta, raggiungendo i 70000 clienti.
- ⤴ In Sudafrica Goal Technology Solutions ha sperimentato la tecnologia a Pretoria, dopo Mitsubishi è subentrata DefiDev e si pensa di raggiungere velocità di 5-20Mb/s.

- ⤴ In Ghana si segnalano i progetti pilota di Cactel all'università di Legon con una combinazione di fibre ottiche, collegamenti radio, WiFi e plc per telefonia e accesso ad internet e quello di AllTerra ad Akosombo, che intende trasmettere la banda larga dalla media alla bassa tensione, sviluppando utilità che aiuteranno a bilanciare e gestire la trasmissione di corrente tra le varie sottostazioni.
- ⤴ In Arabia Saudita, oltre ai progetti pilota condotti tra il 2005 e il 2006 da Electronet e Powerlines Comm. per la Saudi Electric Company, ci sono molte aspettative per l'accordo SACMAC-Mitsubishi perché si andrebbe a proporre un'offerta più economica rispetto a quella abbastanza costosa di Saudi Telecom Company.

Questi progetti invece, per diversi motivi sono terminati:

- ⤴ In Tasmania(Australia) nel novembre 2007 Aurora Energy ha posto termine alla sua offerta di prova, che serviva 500 case a Tolmans Hill dal 2005, a cui era seguito un test tecnologico positivo: il motivo è il passaggio alle fibre ottiche.
- ⤴ Le ragioni economiche invece sono state la causa della fine degli investimenti in Portogallo nel 2006.
- ⤴ Nonostante continui test in molte città della Russia, Electro-Com nel settembre 2008 ha concluso quelli di Mosca sempre per motivi economici.
- ⤴ In Spagna, le maggiori compagnie Iberdrola ed Endesa si sono ritirate nel 2007.
- ⤴ Negli Stati Uniti diversi esperimenti per portare la banda larga con le plc si sono conclusi nel 2008, mentre nel 2010 ha avuto fine quello di Manassas in Virginia.

[13]

1.4 Le plc in Italia

1.4.1 Il progetto Digital PowerLine a Milano

A partire dal 1999 la società Citytel controllata da AEM, l'Azienda Elettrica Municipale di Milano, ha dato avvio ad un test tecnologico sulle plc, che è il primo del genere eseguito sul territorio nazionale.

La notizia era stata accolta con favore dai surfer che non concordavano con le politiche tariffarie di Telecom Italia e desideravano liberarsi dei costi telefonici, per viaggiare nel web senza limiti di tempo e denaro.

Il sistema, che si chiamava Digital PowerLine, utilizzava la tecnologia di Nor.Web(società nata dalla fusione di Nortel colosso canadese e Norweb inglese), che consentiva la trasmissione dati su linea elettrica con una velocità nominale di un milione di bit al secondo, trasformando la rete domestica in una LAN.

Era previsto l'uso di due scatole da porre in casa, una per il collegamento al contatore e l'altra collegata alla prima per il collegamento col pc: dal contatore i dati raggiungevano la più vicina cabina di bassa tensione e venivano convogliati su fibra ottica per raggiungere il provider.

La velocità teorica di 1Mb/s risultava 17 volte maggiore di quelle dei modem più veloci del tempo, ma in realtà era nominale e dipendeva fortemente dal carico generale della rete, in modo direttamente proporzionale al numero degli utenti collegati.

I vantaggi riguardavano, oltre alla velocità, il basso costo, la risoluzione del problema dell'ultimo miglio, la disponibilità costante dell'accesso senza pagare scatti e l'assenza di problemi di cablaggio soprattutto negli edifici ad alto valore storico.

L'unico svantaggio invece derivava dalla collocazione del contatore in merito alla realizzazione del 1° collegamento, infatti nella maggior parte dei palazzi si trova nel sottoscala e non si può effettuare la connessione senza spostarlo, con conseguente aumento dei costi per l'utente.

Infine nel 2001, nonostante il sistema DPL sia stato considerato valido, per via dei bassi volumi e profitti previsti nell'ambito del mercato dell'accesso a banda larga, tali da non compensare gli investimenti, le società coinvolte hanno bloccato il progetto.[14]

1.4.2 Il progetto Speedy a Brescia

La società Selene è nata nel 1999 con l'intento di portare il gruppo ASM nel mercato dell'informatica e delle telecomunicazioni, ne gestisce i servizi informatici ed è dotata di una rete a fibra ottica ed una in rame, attraverso cui eroga i propri servizi a clienti istituzionali e industriali che riguardano: la connettività a banda larga, internet, reti private e sistemi di sicurezza, cablaggi interni, servizi di fonia e videosorveglianza.

Speedy è il primo sistema in Italia di connessione a banda larga su linea elettrica progettato e implementato a livello industriale: a partire dal 2004 la clientela residente nella zona di Brescia, poteva collegarsi ad internet mediante un modem da interporre tra una qualsiasi presa elettrica e il pc.

Con l'offerta "Speedy 4" che costava 16,99Euro si poteva navigare senza limiti, con velocità di 4Mb/s in download e 512Kb/s in upload, mentre il modem fornito in comodato d'uso prevedeva dei costi a tantum.

I vantaggi erano la connettività immediata, le prestazioni affidabili e le tariffe competitive, inoltre in seguito era stato previsto anche il servizio di fonia.[15]

1.4.3 L'esperimento Enel di Grosseto

La società Enel.it fa parte del gruppo Enel ed ha il compito di gestirne le attività informatiche oltre ad offrire le proprie competenze nel settore ICT; gli investimenti effettuati nelle nuove tecnologie e l'esperienza sono i suoi punti di forza, tanto da renderla partner e fornitore di servizi tra i più rinomati del paese.

Nell'analisi e nello sviluppo delle powerline communication è impegnata da lungo tempo presidiando gli organismi internazionali che ne possono favorire la diffusione, poi negli ultimi anni ha condotto con successo alcune sperimentazioni nelle città di Bologna e Firenze, coinvolgendo clienti residenziali e piccoli professionisti.

Le prove hanno dimostrato la compatibilità delle plc con le esigenze di consegna dell'energia elettrica agli utenti e non hanno mostrato segni negativi sulla qualità del servizio elettrico, ma per verificarne la sostenibilità su larga scala si è deciso di condurre un esperimento più ampio a Grosseto, dove sono state messe a confronto le principali tecnologie disponibili e sono state valutate in termini di prestazioni e di qualità del servizio offerto.

Accanto ai servizi tradizionali di accesso veloce ad internet con particolare attenzione alla domanda pubblica (scuole, uffici, ospedali), sono state realizzate forme di assistenza al cittadino con servizi intesi a migliorarne la qualità della vita (video assistenza, medicina, sicurezza, tele-lavoro, automazione della casa) ed altri di pubblica utilità per facilitare il rapporto cittadino-stato, oltreché servizi educativi (e-learning).

Il processo ha preso il via nel febbraio 2002 con la durata prevista in un anno e il piano di sviluppo prevedeva in una prima fase il collegamento via powerline di 1500-2000 clienti, per giungere poi ad una seconda fase dove gli utenti collegati sarebbero cresciuti.

I clienti potevano partecipare aderendo volontariamente, con gli apparati necessari che venivano forniti in comodato d'uso per il 2002 da Enel.it, insieme all'installazione e ad un servizio di assistenza con tecnici specializzati per tutta la durata del progetto.

Le tecnologie utilizzate erano quelle della società svizzera ASCOM e dell'israeliana Main.net, che annunciavano di aver risolto i problemi principali inerenti alle plc.

Secondo il responsabile di Main.net le unità erano sicure e il livello di radiazioni elettromagnetiche rientrava nelle normative con frequenze utilizzate tra 1 e 30 MHz, però anche le reti powerline potevano essere sensibili alle interferenze provenienti da dispositivi collegati alla rete come un forno a microonde, perciò le due società per riconoscere e superare il rumore presente sulla linea elettrica avevano elaborato algoritmi che cambiavano le frequenze quando era necessario.

Le reti powerline potevano essere utilizzate non solo per internet ma anche per far comunicare dispositivi all'interno di un edificio nelle reti LAN: per controllare i dati si utilizzavano il CTP (Centralized Token Passing) e il DSMA (Datagram Sensing Multiple Access).

Quest'ultimo controlla il traffico ad accesso multiplo come su Ethernet utilizzando un dispositivo, che una volta ottenuto l'accesso, passa ad uno schermo basato sui token che gli consente di mantenere il controllo finché continua a trasmettere; oltre a ciò si utilizzava la modulazione FSK (Frequency-Shift Keying) con frequenze separate per le trasmissioni binarie.

Infine l'ultima tecnologia provata era la nuova DS2: un modem con chip DS2 veniva installato in una centrale elettrica con un router internet e un concentratore ATM, collegati ad una compagnia telefonica.

Invece a casa dell'utente si montava un modem domestico e un gateway tra il modem e una LAN per ottenere la condivisione della connessione tra più utenti: i modem con chip DS2 offrivano prestazioni simili a quelli ADSL con un tempo di latenza molto più basso.

La popolazione locale si è dimostrata entusiasta ed ha accolto con favore questa innovazione tecnologica, partecipando attivamente al progetto con le proprie risorse e con la collaborazione delle istituzioni locali motivate a promuovere lo sviluppo del Comune.

Questo esperimento ha avuto esito positivo ed è stato utile per poter studiare in seguito le modalità di realizzazione di un sistema completo basato sulle plc, in grado di assicurare un accesso aperto e non discriminante attraverso l'implementazione di un'architettura decisamente flessibile.[16]

Capitolo 2 Tecnologia e Standard

2.1 Il principio di funzionamento

La tecnologia delle Powerline Communications o sistemi di comunicazione a onde convogliate consente di poter trasmettere i dati digitali sulle linee elettriche esistenti, che attualmente sono utilizzate per il trasporto della corrente, ma possono trasportare anche altri segnali, purché non contrastino con quello elettrico.

Spesso per indicarle si usano anche gli acronimi inglesi plc e bpl(broadband over powerline), mentre in Francia si usa l'acronimo cpl(courants porteurs en ligne).

Il principio che è alla base del sistema è quello delle onde convogliate, che prevede l'abbinamento del segnale dei dati ad alta frequenza con quello della corrente a bassa frequenza: si convogliano cioè segnali a diverse frequenze sullo stesso cavo, che poi al termine della trasmissione verranno separati con opportuni filtri.

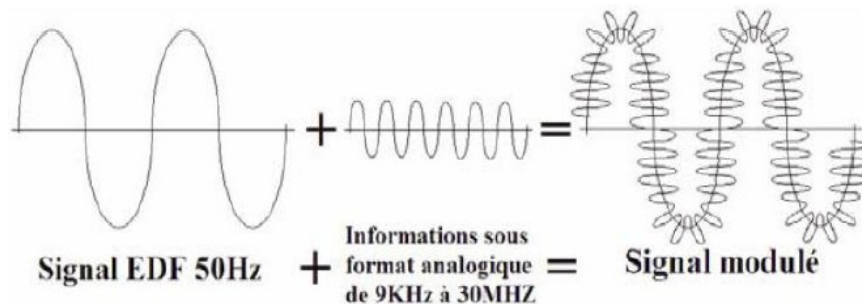


Figura 2.1: Abbinamento del segnale elettrico al segnale dati [63]

Con questo principio è possibile utilizzare i cavi nonostante questi siano stati progettati per il trasporto di segnali a basse frequenze e quindi presentino due inconvenienti: la costituzione in rame di mediocre qualità non bonificato e la presenza di giunzioni lungo la linea.

Questa idea non è del tutto nuova, ma viene considerata come tale perché solo negli ultimi decenni è stata compiuta una vera e propria sperimentazione per collegare utenti a distanza con le linee elettriche, e ciò è dovuto al fatto che solo di recente la tecnologia si è sviluppata in modo tale da fornire i processori e le tecniche necessarie.

La sostanziale novità consiste nel poter sfruttare sofisticati algoritmi di modulazione dei segnali: il segnale dei dati viene codificato con una modulazione che assegna diverse frequenze alle varie sottoportanti e queste possono convogliare le onde relative alle informazioni di medio/alta frequenza sul cavo dove si propaga il segnale elettrico di bassa frequenza, che vale 50Hz in Europa e 60Hz negli Usa.

In ingresso e uscita le due tipologie di segnali vengono separate da filtri con la tecnica della fasatura, che riconosce le varie sottoportanti in base alla frequenza.

Anche i dispositivi da raggiungere vengono identificati allo stesso modo, infatti a ciascuno viene assegnato un codice di riconoscimento corrispondente ad una certa frequenza, quindi potrà ricevere l'informazione codificata solo quel dispositivo accordato al filtro con il valore a lui destinato.

Per quanto riguarda l'ambito di applicazione le plc sono impiegate per la copertura dell'ultimo miglio, che è il tratto della rete elettrica compreso tra l'ultima stazione di trasformazione in bassa tensione e le abitazioni, ma non solo, infatti con esse si possono costituire LAN per collegare utenti all'interno dello stesso edificio, semplicemente collegandosi alle prese elettriche.

In uno schema logico ideale, il segnale in una prima fase viaggia su reti di telecomunicazioni tradizionali come quelle a fibre ottiche o in rame, giunto alla cabina di trasformazione più vicina all'utente si ha il campionamento in segnale digitale e l'assegnamento delle frequenze alle sottoportanti con la modulazione da parte di un modem, che funge da interfaccia tra la rete di telecomunicazioni e quella elettrica.

Nella seconda fase il segnale convogliato viaggia unito a quello elettrico fino alle abitazioni, dove un altro modem effettua la demodulazione separando i segnali e la decodifica dell'informazione; il modem è collocato tra la presa di corrente e un dispositivo che può essere un computer con scheda Ethernet, un telefono o la tv.

Per ciò che concerne i servizi oltre che l'accesso ad internet è possibile trasferire anche voce, dati e video, con velocità che in un primo momento erano comprese tra 2 e 10Mb/s, poi sono arrivate fino a 100-200Mb/s, infine a 500Mbps.

Lo sviluppo del mercato della domotica invece riguarda tre settori: quello dell'home automation che si occupa di automatizzare tutte le funzioni all'interno della casa, quello dell'home networking che cerca di far comunicare tutti i dispositivi al livello fisico e infine lo smart home che ha la funzione di integrare e coordinare tutte queste attività.

Le applicazioni a banda stretta come quelle della domotica utilizzano frequenze tra 9 e 148,5KHz, in base alla norma CENELEC EN50065-1 con bit-rate di 150Kb/s, invece le applicazioni a banda larga come quelle internet e multimediali hanno frequenze tra 1,6 e 30MHz con velocità molto più alte.[2]

2.2 La normativa e le frequenze

In Europa è il CENELEC(Committee European de Normalisation Electrotechnique) che ha stabilito gli intervalli di frequenze per i sistemi di comunicazione su linee elettriche in bassa tensione con la norma EN 50065-1 del 1991.

Il range di frequenze parte da 3KHz e arriva a 148,5KHz, suddiviso in 5 sottobande a cui ad ognuna è assegnato un particolare scopo o servizio:

- ▲ Banda A (da 40KHz a 90KHz) assegnata alle industrie fornitrici di energia elettrica;
- ▲ Banda B (da 110KHz a 125KHz) per sistemi che richiedono una presenza continua del canale disponibile, ma in particolari circostanze può essere utilizzata anche per inviare altri tipi di segnalazioni;

- ⤴ Banda C (da 125KHz a 140KHz) per sistemi che non occupano il canale in modo continuo come i sistemi funzionanti in time sharing o a burst;
- ⤴ Banda D (da 140KHz a 148,5KHz) per sistemi di sicurezza e antincendio;
- ⤴ Banda E (da 3KHz a 8,5KHz) ancora per sistemi che usano continuamente il canale. [3][17]

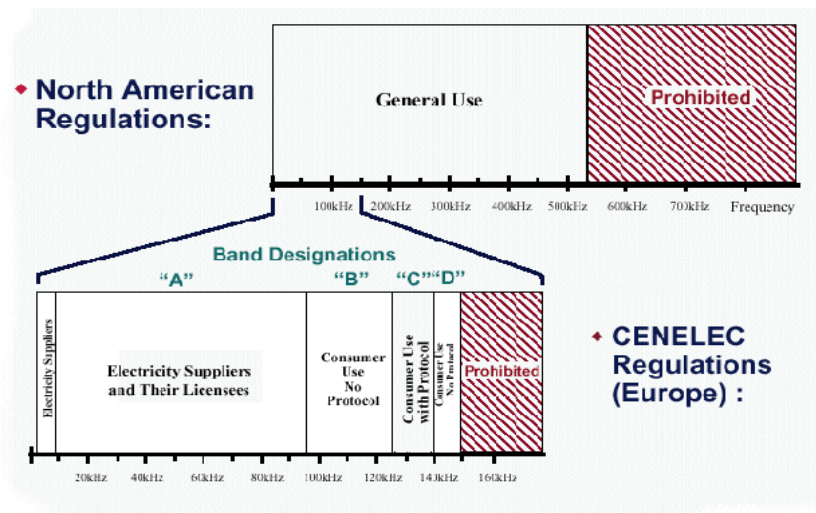


Figura 2.2: Normativa in Nord America e in Europa alle basse frequenze [18]

La normativa in Nord America stabilita dall'FCC e in Giappone è simile, con l'unica differenza che le frequenze arrivano fino a 525KHz, all'inizio del campo di trasmissione della radiodiffusione AM.[18]

A questo punto considerando la relazione dell'efficienza spettrale o di banda: $\rho = \frac{R_b}{W}$ con R_b che rappresenta la bit-rate, cioè il numero di bit trasferiti al secondo e W la larghezza di banda, si può osservare che le due grandezze sono direttamente proporzionali tra loro, per cui dal momento che si hanno a disposizione bande limitate si hanno bassi bit-rate, mentre se volessimo avere velocità di trasmissione più elevate dovremmo disporre di bande più ampie.[19]

Di seguito si propongono i bit-rate massimi corrispondenti ad ogni banda di un dispositivo efficiente che si trova a lavorare con la normativa descritta:

- ⤴ Banda A: bit-rate massimo di 1Mbps in downstream e di 480kbps in upstream.
- ⤴ Banda B: bit-rate massimo di 285kbps in downstream e di 144kbps in upstream.
- ⤴ Banda C: bit-rate massimo di 285kbps in downstream e di 144kbps in upstream.
- ⤴ Banda D: bit-rate massimo di 190kbps in downstream e di 96kbps in upstream.
- ⤴ Banda E: bit-rate massimo di 104kbps in downstream e di 53kbps in upstream.

Supponendo di utilizzare le bande A, B ed E contemporaneamente con la massima velocità consentita, si avrebbero bit-rate ipotetici di 1,5Mbps in downstream e 700kbps in upstream, ma da dover dividere poi con gli altri utenti collegati nello stesso momento.[3]

Si intuisce che se si vuole disporre di servizi più evoluti come l'accesso ad internet e le applicazioni multimediali che richiedono bit-rate maggiori, è necessario lavorare su intervalli di frequenze più ampi.

Il range ideale sarebbe quello compreso tra 1MHz e 30MHz, ma questo comporta dei problemi in merito alla compatibilità elettromagnetica con i sistemi che già operano in quel determinato range, come i servizi di radiodiffusione e di controllo/aiuto alla navigazione aerea, ciò si può evitare con la definizione di una normativa che impedisca sovrapposizioni e interferenze, ma ciò sarà approfondito nel capitolo 5.

2.3 Gli standard sul mercato

Nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi standard che rispecchiano lo sviluppo delle plc e il progressivo passaggio all'utilizzo di bande più larghe.

Nella prima parte vengono presentati i primi standard utilizzati per applicazioni a banda stretta caratterizzati da bassi bit-rate e quindi indirizzati alla realizzazione di sistemi di controllo/lettura remota della rete o dell'home automation.

I più significativi sono X-10, Intellon CEBus, Echelon LONWorks e Intelogis PLUG-IN e per molto tempo sono stati gli unici prodotti presenti sul mercato nonostante siano ormai un po' datati.

Invece la seconda parte riguarda le applicazioni a banda larga sviluppate soprattutto nell'ultimo decennio, dove troviamo gli standard HomePlug e IEEE1901, il quale rappresenta lo standard internazionale definitivo nato dalla fusione di diversi standard precedenti.

2.3.1 Applicazioni a banda stretta

^ X-10

La tecnologia X-10 è presente da oltre vent'anni e inizialmente è stata sviluppata per integrare a basso costo dispositivi di controllo e illuminazione.

Il sistema nasce come unidirezionale e la gran parte delle segnalazioni avviene in questo modo, anche se in seguito è stata aggiunta la possibilità di poter effettuare comunicazioni bidirezionali in certi casi particolari.

Dispositivi compatibili possono comunicare tra loro sfruttando l'impianto elettrico: un controllore/trasmittitore viene inserito in una normale presa elettrica, mentre tra questa e il dispositivo che vogliamo controllare viene inserito un modulo X-10.

L'X-10 utilizza per trasmettere dati binari la modulazione d'ampiezza ASK (Amplitude-Shift Keying), in cui la portante utilizza il punto di attraversamento dello zero dell'onda sinusoidale di tensione a 60Hz, nel passaggio dal semiciclo positivo al negativo e viceversa per la differenziazione dei simboli.

I ricevitori sincronizzati accettano la portante in ogni punto di attraversamento dello zero, in quanto è quello che presenta il minor livello di rumore e interferenza da altri dispositivi.

L'attraversamento dello zero poi deve avvenire due volte consecutivamente nella trasmissione dei simboli binari per ottenere la riduzione degli errori, quindi ogni bit necessita di un ciclo completo a 60Hz, con la velocità che viene limitata a 60bit/s.

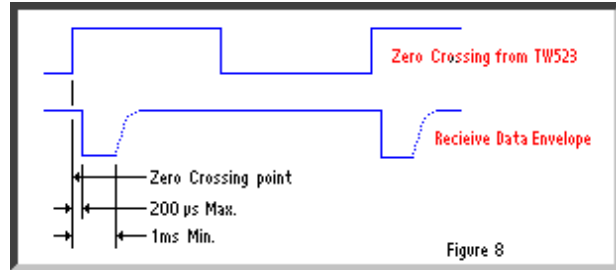
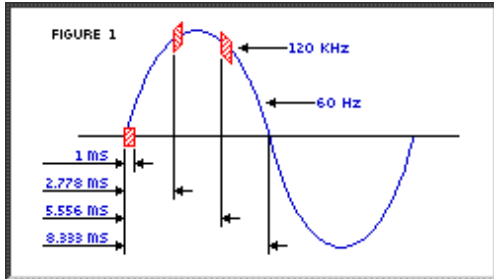


Figura 2.3: X-10: Attraversamento dello zero [65] e Figura 2.4: X-10: Tempi [65]

Di solito un comando completo è costituito da due pacchetti intervallati da uno spazio di tre cicli e ogni pacchetto contiene due messaggi identici di 11bit(o 11 cicli) ciascuno, perciò sono necessari in totale 47 cicli che equivalgono ad un tempo di trasmissione di circa 0,8s.

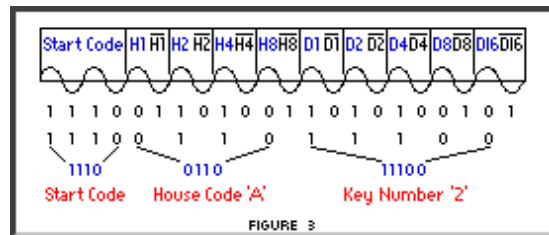
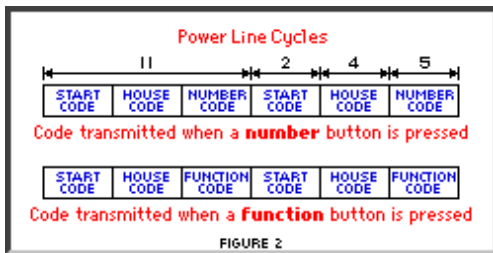


Figura 2.5: X-10: Composizione dei pacchetti [65] e Figura 2.6: X-10: Codifica dei cicli [65]

I costi sono di 8\$ per un semplice ricevitore e di 50\$ per un'unità di comando completa, quindi abbastanza contenuti anche se la scarsa capacità in termini di velocità e intelligenza ne hanno limitato l'utilizzo al controllo remoto delle apparecchiature elettriche.[20][21][22]

▲ Intellon CEBus

Intellon è una compagnia privata che produce prodotti in conformità con lo standard CEBus(noto anche come EIA/ANSI-600), il quale prevede diverse specifiche di strato fisico per la realizzazione di sistemi di comunicazione su linee elettriche o altri media.

I prodotti sono concepiti per il controllo della rete domestica e sono costituiti da due elementi: un transceiver che implementa la tecnica Spread Spectrum e un microcontrollore che esegue il protocollo.

I pacchetti dati vengono trasmessi dal transceiver a 10kbs con la tecnica di modulazione a spettro espanso e ognuno contiene anche gli indirizzi del mittente e del ricevente.

Il modello di comunicazione è di tipo peer to peer in modo che ogni nodo della rete ha libero accesso al canale e per evitare possibili collisioni viene utilizzato il protocollo CSMA/CDRC(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution).

Sostanzialmente il MAC(Media Access Control), che consta in un insieme di regole atte a definire l'accesso da parte di ogni nodo al mezzo fisico, prevede che ciascun nodo debba aspettare a trasmettere i propri pacchetti fino a che la linea non sia libera e quindi non siano stati trasmessi altri pacchetti.

Negli strati superiori invece è previsto un linguaggio CAL(Common Application Language), che con un vocabolario e un sintassi di comando comune, consente ai dispositivi di scambiarsi comandi e richieste di stato.

Il CAL suddivide ogni dispositivo in parti chiamate “contesti” che hanno caratteristiche comuni agli altri dispositivi, a sua volta un contesto è suddiviso in “oggetti” ognuno dei quali rappresenta una funzione di controllo del contesto, infine l'ultima suddivisione prevede che ogni oggetto sia composto da “istanze variabili” che definiscono le operazioni delle funzioni degli oggetti.

In un esempio pratico un contesto può essere il controllo audio di uno stereo, un oggetto il volume o i bassi, mentre le istanze il livello di default del volume.

La gamma dei prodotti di Intellon va dal chip alla piattaforma completa in base al livello di integrazione desiderato, ma nonostante la maggior evoluzione e funzionalità del sistema rispetto all'X-10, i costi sono più elevati ne hanno determinato una minore diffusione sul mercato.[20][21][22]

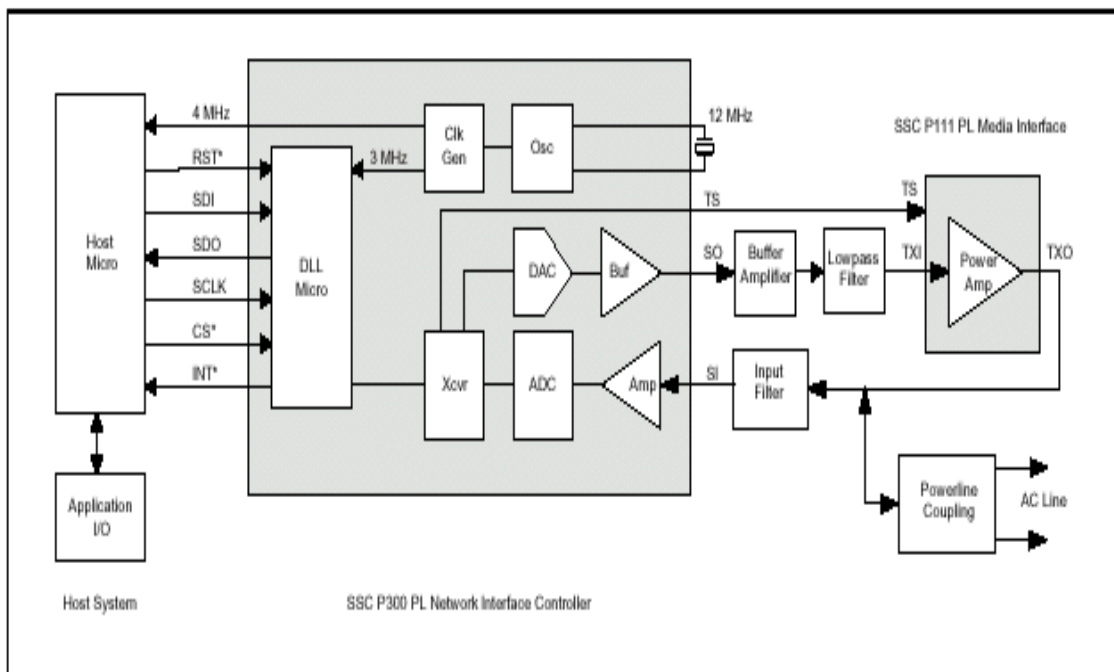


Figura 2.7: Combinazione di Intellon SSC P300 PL(Network Interface Controller) con Intellon SSC P111 PL(Media Interface) [64]

▲ Echelon LONWorks

Anche il protocollo di Echelon come quello di Intellon è di tipo peer to peer, con implementazione della tecnica CSMA.

L'azienda mette a disposizione una vasta gamma di prodotti per realizzare un sistema di controllo della rete(LONWorks), che dispone di un sofisticato MAC ed è costituito da tre elementi: il chip NEURON, il protocollo LONTALK e il LONWORKS Network Services.

Il chip NEURON, disponibile in due versioni, è dotato di tre processori a 8bit con 10kbyte sia per la RAM che per la ROM e raggiunge con la tecnica Spread Spectrum velocità di 10kb/s.

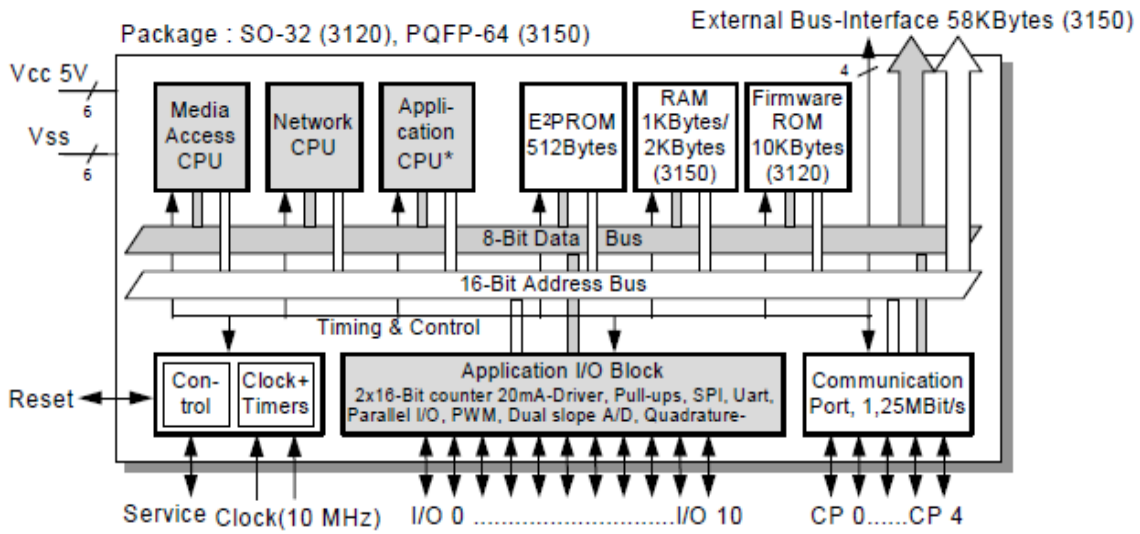


Figura 2.8: Echelon Lonworks: Architettura del Neuron Chip [66]

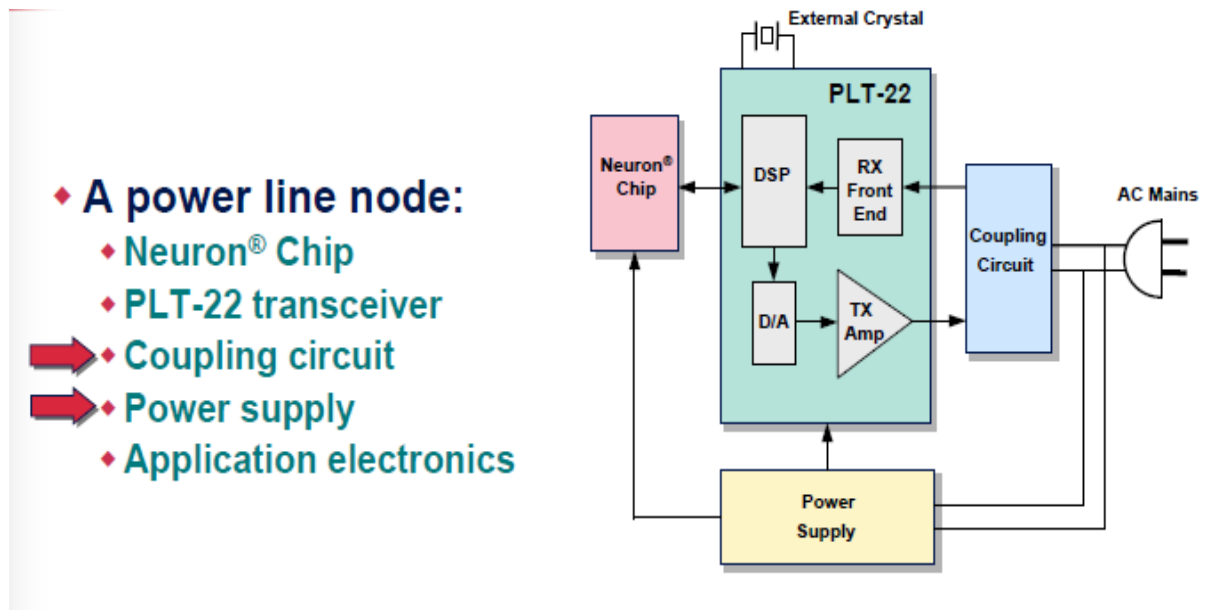


Figura 2.9: Echelon Lonworks: Schema a blocchi con transceiver PLT-22 [67]

Il protocollo LONTALKS è uno standard internazionale studiato per esigenze di controllo ed è implementato direttamente sul chip NEURON, in modo da realizzare un sistema di controllo completo in grado di supportare diversi mezzi di comunicazione come le fibre ottiche o il doppino telefonico; in seguito poi si è consentito al sistema di interfacciarsi con gli altri tipi di transceiver presenti su powerline con bit-rate massimo di 1,25Mb/s.

L'ultima parte è LONWORKS Network Services(LNS), un sistema operativo molto potente che permette l'installazione, la configurazione, il monitoraggio, la manutenzione e il controllo della rete di controllo LONWORKS, inoltre è compatibile con tutti i sistemi (PC, MAC, UNIX, etc.) e il suo server supporta, a livello di strato di trasporto, sia il protocollo LONTALK che il TCP/IP.

Il sistema LONWorks(conosciuto anche come ANSI/EIA 701.9-A-1999) nel complesso è completo e sofisticato perciò risulta troppo costoso per applicazioni domestiche ed è limitato a quelle industriali e commerciali, che insieme rappresentano il 60% delle entrate di Echelon.[20][21][22]

▲ Intelogis PLUG-IN

Questo protocollo di rete realizzato da Intelogis è collegato al modello OSI(Open System Interconnection) con cinque livelli su sette definiti nello stack, sono infatti esclusi gli strati di presentazione e di sessione.

Di seguito sono indicate le associazioni tra gli strati OSI e quelli di PLUG-IN:

- ▲ Strato di Applicazione(Application layer)-PLUG-IN Intelogis Common Application Layer (iCAL) Protocol;
- ▲ Strato di Rete(Network layer)-PLUG-IN Power Line Exchange (PLX) Protocol;
- ▲ Strato di Trasporto(Transport layer)-PLUG-IN PLX Protocol;
- ▲ Strato di Collegamento(Data Link layer)-PLUG-IN PLX Protocol;
- ▲ Strato Fisico(Physical layer)-PLUG-IN Digital Power Line (DPL).

Lo strato di applicazione PLUG-IN usa come protocollo il CAL, ma con una topologia client/server al posto del modello peer to peer, così si può allocare la maggior parte dell'intelligenza di ogni nodo di applicazione in un'unità centralizzata(Application Server).

La struttura è paragonabile a quella di un computer con una CPU potente e veloce che controlla e gestisce tutte le periferiche, le quali non dovendo comunicare tra loro risultano semplici ed economiche.

Negli strati inferiori è il protocollo PLX a definire le regole per le operazioni degli strati di rete, trasporto e collegamento, nonostante la sua funzione principale sia quella di definire la parte di MAC dello strato di collegamento.

PLX usa un protocollo di accesso al mezzo composto da due meccanismi di accesso separati: il DSMA(Datagram Sensing Multiple Access) per stabilire l'ingresso nel sistema dei nodi rimasti inattivi e il CTP(Centralized Token Passing) impiegato nella gestione del sistema a regime.

Infine nello strato fisico è presente il protocollo DPL, che invia segnali digitali sulla linea elettrica con una modulazione FSK, dove si hanno due o più frequenze distinte in una banda ristretta.

Ciò dovrebbe consentire una riduzione dei costi rispetto a implementazioni basate su tecniche di modulazione Spread Spectrum, che sono più complesse e quindi più costose e un miglior adattamento alla normativa europea del CENELEC che prevede bande più strette di quelle americane.

La velocità è di circa 350kbps per la soluzione PLUG-IN DPL a singolo canale, mentre dovrebbe raggiungere 1Mbps per quella a canali e portanti multiple, con una BER(Bit Error Rate) di 10^{-9} e 80dB di dinamica.[21][22]

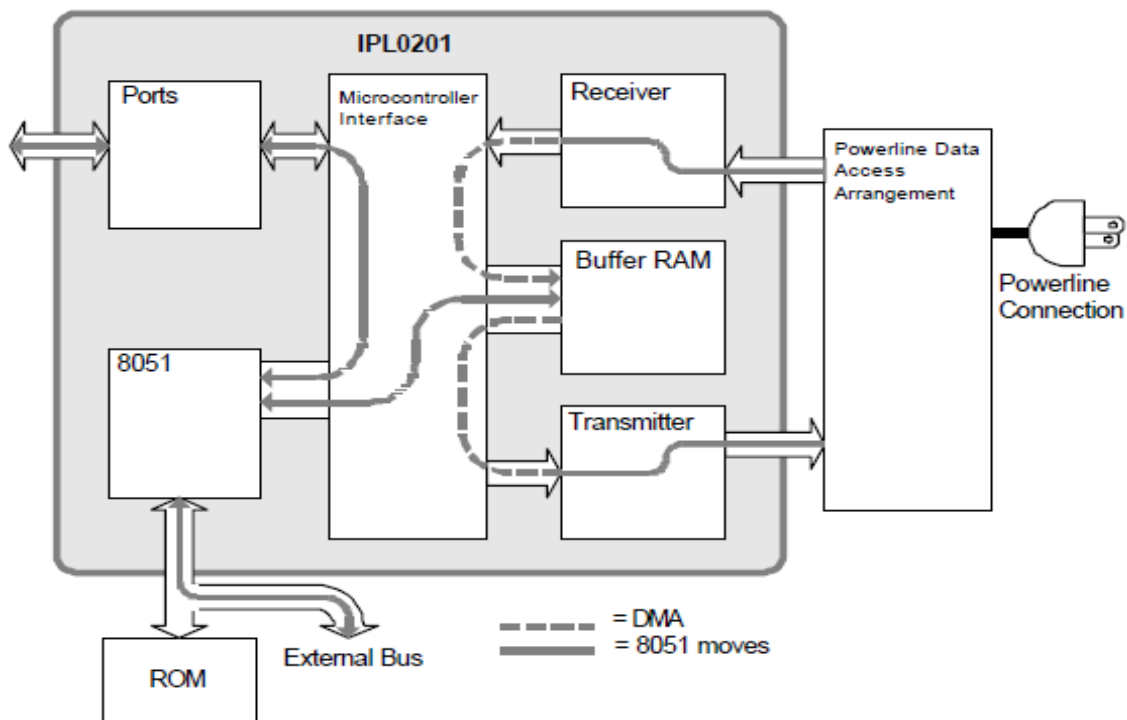


Figura 2.10: Schema a blocchi del chip IPL0201 a 2Mps di Inari [69]

▲ Konnex (KNX)

KNX è il primo standard aperto e indipendente dalla piattaforma approvato come standard europeo e mondiale, è stato sviluppato dalla KNX Association e può vantare l'esperienza dell'unione di tre protocolli precedenti che sono confluiti insieme: EIB(European Installation Bus), EHS(European Home System) e BatiBUS, dedicati alla domotica e all'automazione degli uffici.

Le modalità di installazione sono tre: quella “di sistema” che richiede l'impiego di un software con cui si può programmare, configurare e stabilire le connessioni tra i componenti del sistema Bus, quella “semplice” che fornisce agli installatori una valida soluzione per una rapida configurazione dell'impianto con funzioni limitate rispetto al primo e quella “automatica” che permette all'utente finale di realizzare autonomamente la connessione di nuove applicazioni e riguarda solo prodotti del mercato di consumo.

I mezzi trasmissivi utilizzati sono diversi e possono essere utilizzati anche in combinazione con le varie modalità di installazione, in modo da creare la configurazione più adatta al cliente: si tratta di doppini intrecciati con bit-rate di 4800bit/s o 9600bit/s, plc con bit-rate di 1200bit/s a 110KHz o 2400bit/s a 132KHz, radiofrequenza con 38,4kb/s a 868MHz e infine Ethernet con tunnelling di frame KNX incorporati in frame IP.

Il modello utilizzato da Konnex è di tipo client/server, con i dispositivi che si possono suddividere in due categorie e possono appartenere anche ad entrambe: AR(Application Resource) cioè il server che mette a disposizione il servizio e AC(Application Control) che è il client che effettua richieste di servizi.

Un'applicazione KNX è formata da blocchi funzionali, cioè unità di codice dove questo opera su data-point, che sono delle variabili condivise tra le applicazioni usate per la rappresentazione di varie funzioni di un sistema di building automation e presentano il vantaggio di essere standardizzate, consentendo a prodotti di fornitori diversi di comunicare tra loro senza problemi su un bus konnex.[23]

2.3.2 Applicazioni a banda larga

▲ Gli standard HomePlug

HomePlug Powerline Alliance è un'associazione creata nel 2000 da 13 aziende, aumentate nel tempo fino a 80, tra le più importanti a livello mondiale in ambito di elettronica e telecomunicazioni(3Com, AMD, Cysco Systems, Compaq, Conexant, Enikia, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic, S3's Diamond Multimedia, Tandy/RadioShack e Texas Instrument) con lo scopo di definire specifiche per la comunicazione su reti powerline.

La prima versione di standard è HomePlug 1.0, che è stata introdotta nel giugno 2001, e fornisce un picco PHY-rate di 14Mb/s.

Nel 2008 TIA(Telecommunications Industry Association) la incorpora nello standard internazionale TIA-113 che stabilisce le operazioni del modem sull'uso del cablaggio elettrico, si tratta del primo multi-megabit standard di comunicazione su linee elettriche approvato da un'organizzazione americana accreditata(ANSI).

Esiste anche la versione Turbo, che però non è stata approvata ufficialmente, con i suoi adattatori che sono conformi alle specifiche di HomePlug 1.0 ma sono più veloci, infatti la modalità proprietaria aumenta la bit-rate a 85Mb/s.

La seconda versione è HomePlug AV, che lanciata nell'agosto 2005 offre una larghezza di banda maggiore, sufficiente per le applicazioni VoIP e HDTV.

La velocità arriva fino a 200Mb/s allo strato fisico e 80Mb/s al livello MAC, ma alcuni adattatori Qualcomm Atheros-based utilizzano un'estensione che aumenta il picco PHY-rate a 500Mb/s mediante uno spettro più ampio.

HomePlug AV utilizza una modulazione adattiva su un massimo di 1155 sottoportanti OFDM, turbo codici di convoluzione per la correzione degli errori e due livelli d'inquadramento MAC con ARQ, inoltre può avvicinarsi alla larghezza di banda massima teorica attraverso un percorso di trasmissione dati.

Tecniche di distribuzione di chiavi e l'uso della crittografia a 128bit AES sono incluse per ragioni di sicurezza, così come le tecniche adattive di specificazione che hanno la funzione di creare ostacoli a intercettazioni e attacchi informatici.

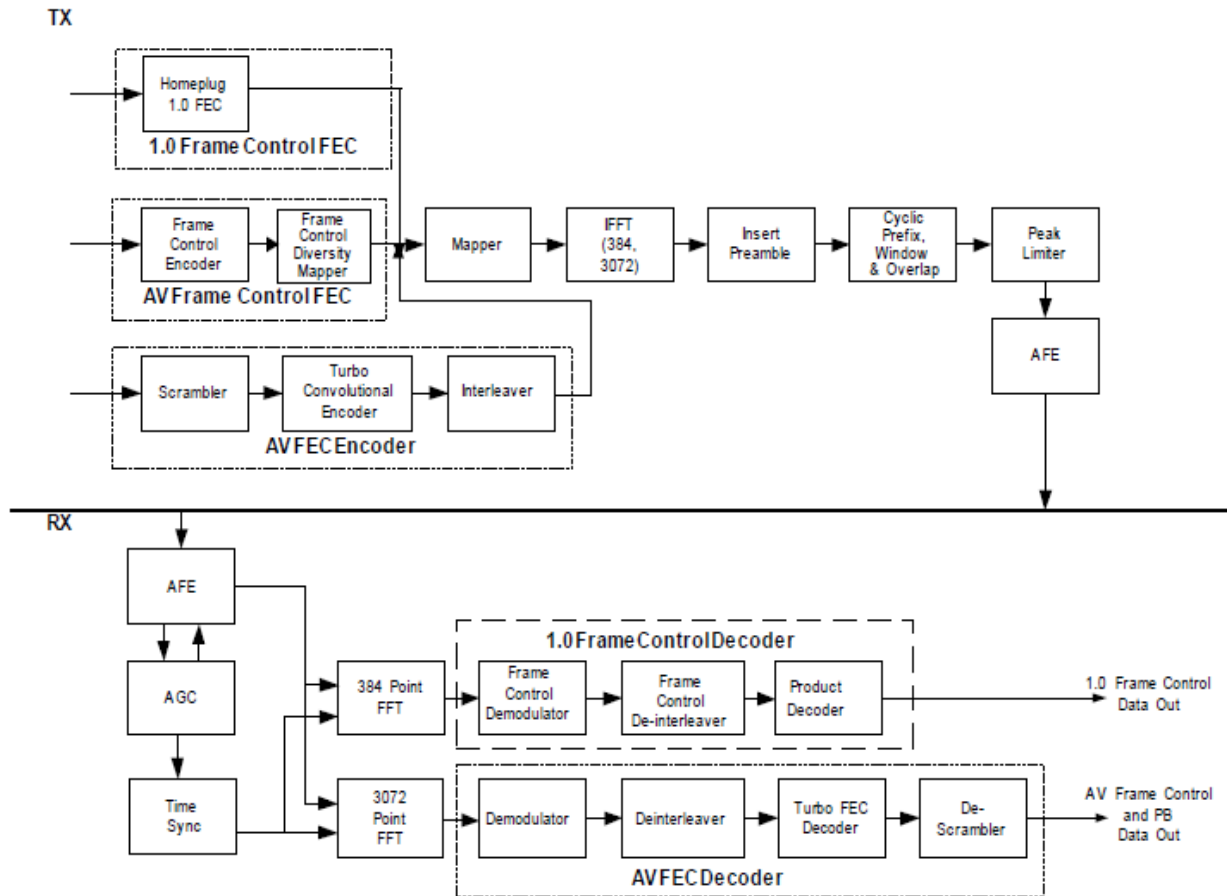


Figura 2.11: Schema a blocchi del trasmettitore e del ricevitore HPAV [68]

L'evoluzione di questa versione è HomePlug AV2, che introdotta nel gennaio 2012, è compatibile sia con la precedente che con gli standard IEEE1901: la PHY-rate è aumentata fino ad un range di 600Mb/s-1,8Gb/s e sono implementati MIMO, SISO e capacità di ripetizione.

Access Broadband Powerline(BPL) si riferisce ad una tecnologia di accesso a banda larga to-the-home.

L'Alliance ha creato il gruppo di lavoro HomePlug Access BPL, il cui obiettivo era quello di sviluppare il Market Requirements Document per giungere ad una specifica, poi ha fatto un invito alle industrie BPL per partecipare allo sviluppo nel MRD, infine dopo alcuni mesi di collaborazione MRD è stata completata nel 2005, per poi confluire nello standard IEEE1901.

Da segnalare anche la versione HomePlug Green PHY, sottoinsieme della AV, che però non rientra nelle applicazioni a banda larga ed è destinata alle reti intelligenti dove si trovano piccoli elettrodomestici come termostati HVAC, veicoli elettrici plug-in o contatori intelligenti.

I picchi raggiunti dal bit-rate sono di 10Mb/s ma in questo caso i requisiti più importanti sono la comunicazione affidabile e le dimensioni compatte a bassa potenza, con un risparmio sull'energia consumata rispetto alla versione AV che raggiunge il 75%.[24]

▲ Lo standard IEEE1901

Nel 2005 viene creato un gruppo di lavoro dall'IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) con lo scopo di elaborare un unico standard internazionale per la trasmissione dei dati a banda larga su linee elettriche: si chiamerà IEEE1901 e rappresenterà una versione combinata delle versioni di HomePlug Powerline Alliance e Panasonic HD-PLC.

Lo standard, che verrà pubblicato nel 2010, include due diversi strati fisici: uno basato sulla modulazione OFDM FTT(Ortogonal Frequency Division Multiplexing) con correzione di errori avanzata FEC(Forward Error Correction) e CTC(Convolutional Turbo Codes), l'altro invece operante con modulazione OFDM "Wavelet" e FEC basati su codici convoluzionali, Reed-Solomon e LDPC(Low Density Parity Check), quest'ultimi opzionali.

Lo strato PHY OFDM deriva dallo standard HomePlug AV e viene impiegato in prodotti HomePlug-based, invece il PHY Wavelet è più restrittivo e distribuito soprattutto in Giappone, però il fatto che ogni strato sia opzionale per i produttori potrebbe far sì di avere dispositivi con strati diversi che non possono operare tra loro.

Sopra i due strati fisici troviamo due strati MAC per rete in-home e rete di accesso, necessari in quanto ogni applicazione ha esigenze particolari ed esclusive.[25]

Sarà possibile raggiungere velocità di trasferimento fino a 500Mb/s in applicazioni LAN e in quelle first-mile/last-mile la portata dei dispositivi arriverà a 1500m, con frequenze entro i 100MHz.

Nel settore dei trasporti con simili velocità si potranno realizzare intrattenimenti audio/video nei sedili di aerei o treni, i veicoli elettrici potranno scaricare playlist per il sistema A/V mentre l'auto si carica di notte, inoltre le plc potranno completare le wireless LAN negli edifici a più piani, portando dati multimediali sulle distanze più lunghe e fornendo un collegamento attraverso muri o altri ostacoli presenti in radio frequenza.[26]

Capitolo 3 Tecniche di trasmissione

3.1 Applicazioni a banda stretta

3.1.1 Modulazioni numeriche tradizionali

Nella modulazione digitale un segnale analogico portante viene modulato su un segnale discreto, i metodi di modulazione possono essere considerati di conversione digitale/analogico e i cambiamenti nel segnale portante sono scelti da un alfabeto costituito da un numero finito di simboli diversi.

Le tecniche di modulazione principali sono quattro: ASK(Amplitude-Shift Keying), PSK(Phase-Shift Keying), FSK(Frequency-Shift Keying) e QAM(Quadrature Amplitude Modulation).

Le prime tre utilizzano un numero finito rispettivamente di ampiezze, fasi e frequenze, mentre la QAM utilizza al massimo due fasi e due ampiezze: in quest'ultima un segnale in fase(I, per es. un coseno) ed uno in quadratura(Q, per es. un seno) vengono modulati con un numero finito di ampiezze e sommati, può quindi essere vista come un sistema a due canali ASK ciascuno e il segnale risultante è una combinazione tra ASK e PSK.

In tutti i metodi ogni ampiezza, fase o frequenza vengono codificati in un numero uguale di bit, le cui combinazioni formano i simboli che li rappresentano.

Se si hanno N bit l'alfabeto è costituito da $M=2^N$ simboli diversi, dove ognuno rappresenta un messaggio di N bit(per es. con 4 bit si hanno 16 simboli).

Tranne per l'FSK, per rappresentare l'alfabeto di modulazione è conveniente impiegare un diagramma di costellazione che mostra l'ampiezza del segnale I sull'asse x e quella del segnale Q sull'asse y per ogni simbolo.

I segnali I e Q possono essere combinati in un segnale complesso $I+jQ$ in modo da formare un segnale equivalente in banda base, che è la rappresentazione complessa del segnale fisico modulato reale.

Nello schema di trasmissione il modulatore raggruppa subito i bit in parole di codice(una per ogni simbolo) che poi vengono mappate per l'attribuzione dei valori di ampiezza, fase o frequenza.

Con un'operazione di filtraggio, tipicamente usando un processo di segnale digitale, viene formato lo spettro del segnale passa-basso equivalente, dopodiché viene effettuata la conversione digitale/analogico dei segnali I e Q con dei DAC.

A questo punto vengono generate una forma d'onda portante ad alta frequenza(seno) ed una di tipo coseno in quadratura, che vengono moltiplicate ai segnali I e Q con la modulazione, con le frequenze che vengono spostate al segnale passa-banda modulato.

L'ultima operazione compiuta consiste in un'amplificazione ed un filtraggio del segnale passa-banda analogico per evitare la distorsione armonica e lo spettro periodico.[27] [28]

Di seguito si analizzano le modulazioni impiegate nelle reti powerline:

▲ BPSK(Binary Phase-Shift Keying) o 2-PSK

Questa modulazione è la forma più semplice della PSK, la quale trasmette cambiando o modulando la fase del segnale portante per rappresentare il segnale dati in due modi: considerando la fase oppure la sua variazione come trasmittente di dati.

Vengono utilizzate due fasi separate di 180° e si ha la maggiore robustezza di tutte le altre PSK, dal momento che è necessario il più alto livello di rumore o distorsione per far prendere al demodulatore una decisione errata.

La capacità di modulare a 1bit/symb rende questa modulazione inadatta ad applicazioni con elevati bit-rate, inoltre in presenza di uno sfasamento introdotto dal canale il demodulatore non riesce ad individuare il punto della costellazione, col risultato che spesso i dati vengono codificati in modo diverso.

$$s_n(t) = \sqrt{2 \frac{E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t + \pi(1-n)), \text{ con } n=0,1$$

La generica forma del segnale è:

con f_0 che è la frequenza della portante.

Con i valori di fase 0 e π nella forma specifica i dati binari vengono trasmessi dai due segnali:

$$s_0(t) = \sqrt{2 \frac{E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t + \pi) \text{ per il simbolo } 0 \quad s_1(t) = \sqrt{2 \frac{E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t) \text{ per il simbolo } 1$$

mentre le funzione base che servono per rappresentare il segnale nello spazio valgono:

$$\Phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t) \quad \text{e} \quad \Phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \sin(2\pi f_0 t)$$

Considerando un canale con rumore gaussiano bianco AWGN, la probabilità di errore per bit, che è anche la probabilità di errore per simbolo vale: $P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$

[28] [29]

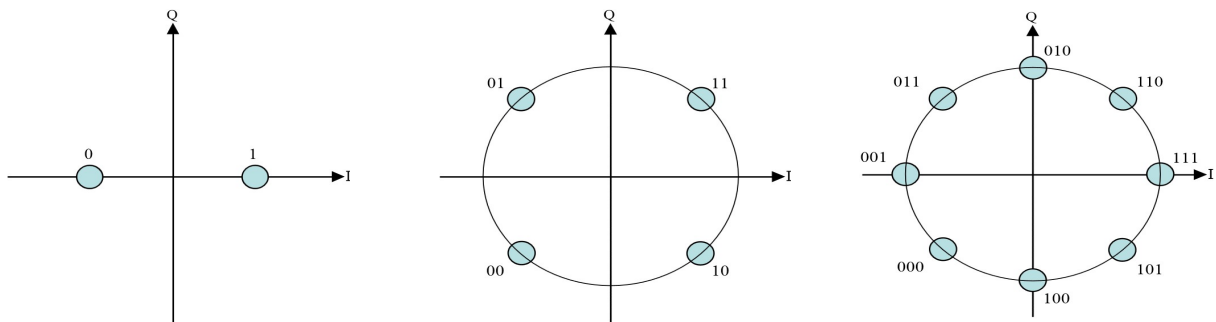


Figura 3.1: Costellazioni delle modulazioni B-PSK, 4-PSK e 8-PSK [29]

▲ QPSK(Quadrature Phase-Shift Keying)

Anche detta Quaternary PSK, Quadriphase PSK o 4-PSK, questa modulazione utilizza quattro fasi e codifica due bit per simbolo con codifica Gray per minimizzare la BER, quindi si hanno quattro simboli che nella costellazione sono disposti in cerchio equispaziati.

Può essere utilizzata per raddoppiare la data-rate rispetto a quella della BPSK mantenendo la stessa banda, oppure per mantenere la stessa data-rate ma con la banda dimezzata, in quest'ultimo caso la BER rimane la stessa.

Dal momento che la banda massima disponibile è molto spesso già assegnata il vantaggio rispetto alla modulazione BPSK sta nel fatto di poter trasmettere con una data-rate doppia a parità di banda e di BER.

Lo svantaggio invece dovrebbe essere la maggiore complessità dei trasmettitori e dei ricevitori, ma con i modem moderni i costi sono comunque limitati, invece anche in questo caso sono presenti problemi di ambiguità di fase in ricezione per cui spesso si utilizza la versione differenziale.

La forma del segnale utilizzato è: $s_n(t) = \sqrt{2 \frac{E_s}{T_s}} \cos(2\pi f_0 t + (2n-1) \frac{\pi}{4})$, con $n=1,2,3,4$

che da poi origine ai segnali specifici con fasi: $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$.

Le funzioni base utilizzate per la rappresentazione geometrica dei segnali sono:

$$\Phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_0 t) \quad \Phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_0 t)$$

La costellazione è costituita da 4 punti con le coordinate: $(\pm \sqrt{\frac{E_s}{2}}, \pm \sqrt{\frac{E_s}{2}})$ dove il fattore $\frac{1}{2}$ indica che la potenza è ugualmente ripartita tra le due portanti.

Comparando le funzioni base con quelle della BPSK, la QPSK può essere pensata come l'insieme di due segnali BPSK.

La Probabilità di errore per bit è la stessa della BPSK quindi: $P_b = Q(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}})$

ma con una potenza utilizzata doppia, dal momento che si trasmettono due bit alla volta.

La Probabilità di errore per simbolo è data da: $P_s = 1 - (1 - P_b)^2 = 2Q(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}) - Q^2(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}})^2$

Aumentando il numero delle fasi con modulazioni PSK di ordine maggiore la data-rate aumenta ma anche il tasso di errore, per cui ci sono modulazioni più complesse ma migliori che si possono impiegare (ad es. la QAM), quindi il limite che si pone per le fasi è di 8 con la 8-PSK.

Come tutti gli schemi di modulazione M-ary con $M=2^N$ simboli, dato l'accesso ad una fissata banda, la capacità di canale degli schemi di modulazione in fase aumenta fino ad un massimo di N bit per simbolo, con l'aumentare del rapporto segnale-rumore. [28] [29]

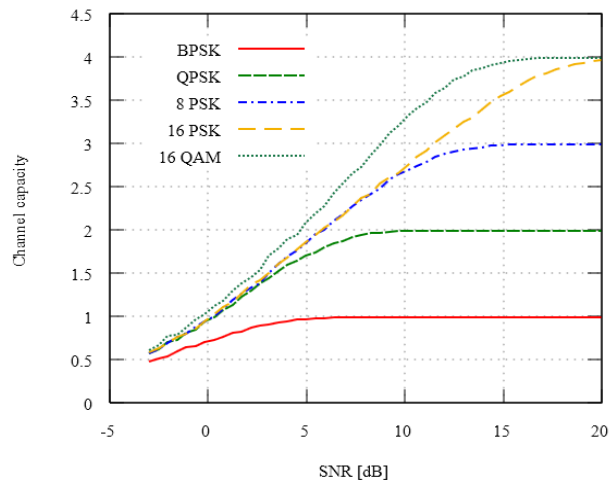
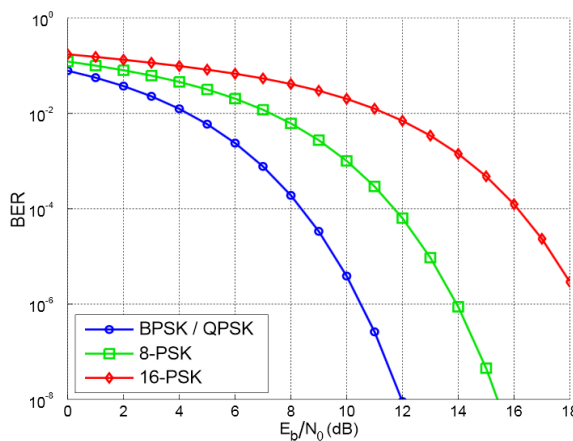


Figura 3.2: Confronto tra le curve BER delle modulazioni in fase [29] e Figura 3.3: Confronto tra le capacità di canale delle modulazioni in fase [29]

⤴ DPSK(Differential Phase-Shift Keying)

Questa versione differenziale viene utilizzata per risolvere i problemi di ambiguità di fase delle modulazioni precedenti, che si possono verificare se la costellazione è ruotata da alcuni effetti nel canale attraverso cui passa il segnale.

La risoluzione del problema consiste nell'utilizzo di dati che cambiano e poi impostano la fase, ad es. nella DBPSK un "1" può essere trasmesso aggiungendo 180° alla fase corrente e uno "0" aggiungendo 0° .

Nella DQPSK le variazioni di fase sono di 0° , 90° , 180° e -90° corrispondenti ai simboli 00, 01, 11, 10: la codifica viene demodulata allo stesso modo della versione normale ma l'ambiguità di fase viene ignorata, così ogni simbolo viene demodulato in uno dei punti della costellazione e un comparatore poi stima la differenza di fase tra il segnale ricevuto e il precedente.

Con questa modulazione il tasso d'errore viene raddoppiato rispetto alla M-PSK, ma si può rimediare con un lieve aumento dell'SNR, comunque ci sarà anche un canale fisico tra trasmettitore e ricevitore che introduce uno sfasamento al segnale PSK e in questo caso il tasso di errore diventa addirittura migliore rispetto agli schemi tradizionali.[29]

⤴ QAM(Quadrature Amplitude Modulation)

Questa modulazione trasmette i dati digitali cambiando l'ampiezza di due onde portanti, in genere sinusoidi sfasate di 90° e perciò dette in quadratura, utilizzando lo schema ASK.

La modulazione d'ampiezza di due portanti in quadratura può essere vista come una doppia modulazione sia di fase che d'ampiezza di una singola portante.

Il vantaggio che si ottiene è quello di disporre di un'efficienza spettrale alta dimensionando opportunamente la dimensione della costellazione, limitata dal rumore e dalla linearità del canale.

Nella modulazione QAM di solito i punti della costellazione sono disposti in un'area quadrata e si trovano in numero di una potenza del 2, con la 16-QAM, la 64-QAM e la 256-QAM che sono le forme più comunemente utilizzate.

Con costellazioni di ordine superiore si possono trasmettere più bit per simbolo, ma se l'energia media della costellazione rimane uguale, i punti vengono a trovarsi più stretti, diventando così suscettibili al rumore e alla corruzione.

L'effetto di ciò è un tasso d'errore più alto con la conseguenza che le modulazioni QAM di ordine maggiore inviano dati meno affidabili rispetto a quelle inferiori, per un'energia di costellazione media costante.

Se sono richieste data-rate maggiori di quelle offerte dalla 8-PSK, si è soliti passare alla QAM, che dispone i punti adiacenti nel piano I-Q su distanze maggiori, anche se così il demodulatore deve rilevare correttamente non solo la fase ma anche l'ampiezza.

I sistemi di comunicazione progettati per avere alti livelli di efficienza spettrale, di solito impiegano costellazioni molto dense, ad esempio lo standard HomePlug AV2 a 500Mb/s utilizza le modulazioni 1024-QAM e 4096-QAM.

Di seguito è mostrato lo schema del trasmettitore QAM, con una frequenza portante f_0 e una risposta in frequenza del filtro $H_t(f)$.

Il flusso di bit in ingresso viene separato in due segnali distinti che vengono codificati separatamente, poi vengono associati ad un seno e un coseno in modo che siano sfasati di 90° , infine vengono sommati nel segnale $s(t)$ in uscita.

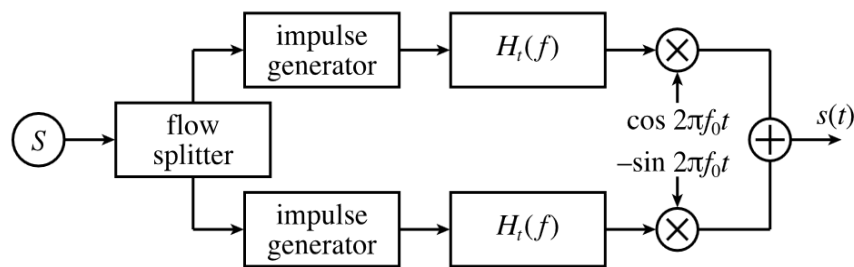


Figura 3.4: Schema del trasmettitore ideale QAM [30]

Il segnale trasmesso è: $s(t) = \sum [v_c[n]h_t(t-nT_s)\cos(2\pi f_0 t) - v_s[n]h_t(t-nT_s)\sin(2\pi f_0 t)]$

con $v_c[n]$ e $v_s[n]$ che sono i voltaggi applicati in risposta all'n-mo simbolo, rispettivamente al seno e al coseno.

A lato ricevitore vengono applicate le operazioni inverse ma possono essere presenti: un ritardo di fase tra trasmettitore e ricevitore, che deve essere compensato con la sincronizzazione dell'oscillatore dei ricevitori e un offset in frequenza dovuto all'effetto Doppler.

Per compensare entrambe le variazioni introdotte dal canale occorre sintonizzare il seno e il coseno con un riferimento di fase, che in genere viene realizzato da un PLL (Phase-Locked Loop).

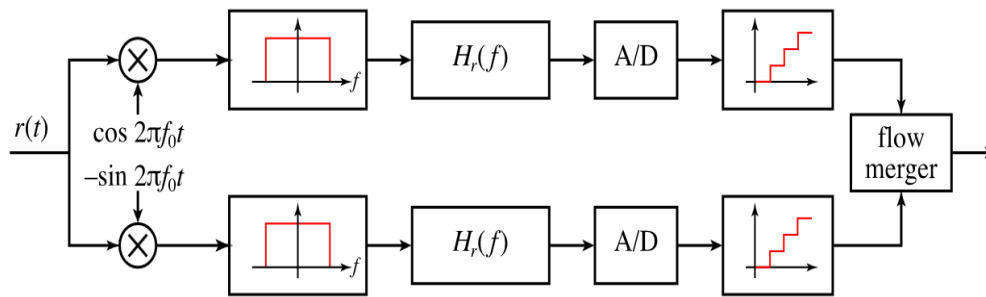


Figura 3.5: Schema del ricevitore ideale QAM [30]

La tipologia di costellazione rettangolare è subottimale in quanto per una data energia i punti non vengono distanziati al massimo, ma è vantaggiosa perché può essere trasmessa facilmente come due segnali PAM su portanti in quadratura e facilmente demodulata.

Lo schema minimo che si utilizza è quello della 16-QAM, con codifica Gray dei simboli, in quanto la 2-QAM e la 4-QAM sono considerate simili alle loro equivalenti in fase e la 8-QAM ha un'efficienza inferiore del 25%.

La proprietà di errore per simbolo per portante è: $P_{sc} = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3 E_s}{(M-1) N_0}} \right)$

da cui si ricava la probabilità di errore per simbolo: $P_{sc} = 1 - (1 - P_{sc})^2$

Invece la probabilità di errore per bit dipende dall'assegnamento dei bit ai simboli.

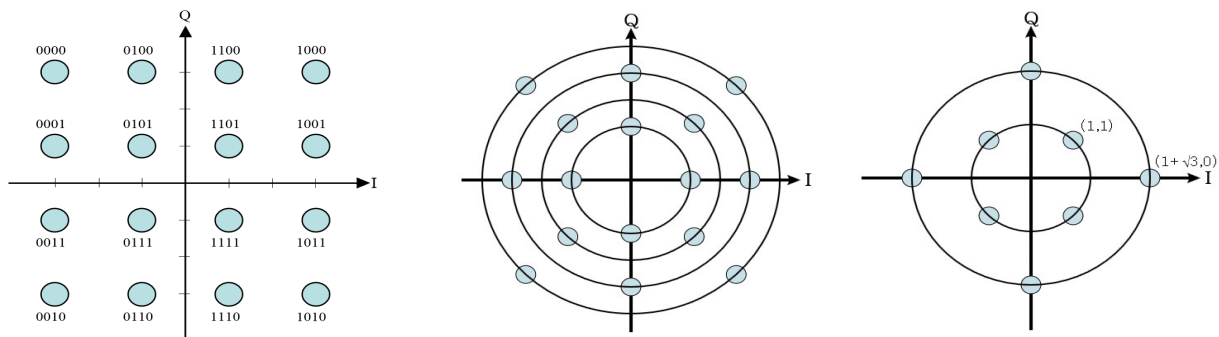


Figura 3.6: Esempi di costellazioni: 16-QAM rettangolare, 16-QAM circolare e 8-QAM circolare [30]

Oltre alla costellazione rettangolare esiste anche quella circolare, dove la 8-QAM è quella ottimale in quanto per una fissata distanza minima euclidea è richiesto un consumo di potenza minimo, mentre la 16-QAM è simile ma subottimale.

Osservando gli schemi circolari si può notare la somiglianza con quelli PSK, infatti i criteri di costruzione sono simili.

La P_s si può esprimere in funzione della minima distanza euclidea, cioè la minima

$$P_s < (M-1) Q \left(\sqrt{\frac{d_{min}^2}{2N_0}} \right)$$

distanza che si ha tra due punti e vale:

Utilizzando ordini di costellazione superiori in ambienti applicativi ostili per la QAM, come le applicazioni a microonde, la data-rate aumenta ma anche l'interferenza dei cammini multipli.

Si verifica una distribuzione di punti nella costellazione, diminuendo la separazione tra stati adiacenti, che rende difficile per il ricevitore la decodifica del segnale corretto, quindi si ha una riduzione dell'immunità ai disturbi.[28] [30] [31]

3.1.2 Spread Spectrum

In telecomunicazioni Spread Spectrum o spettro espanso è una tecnica con cui un segnale generato in una determinata banda viene trasmesso nel dominio delle frequenze su una banda molto più ampia.

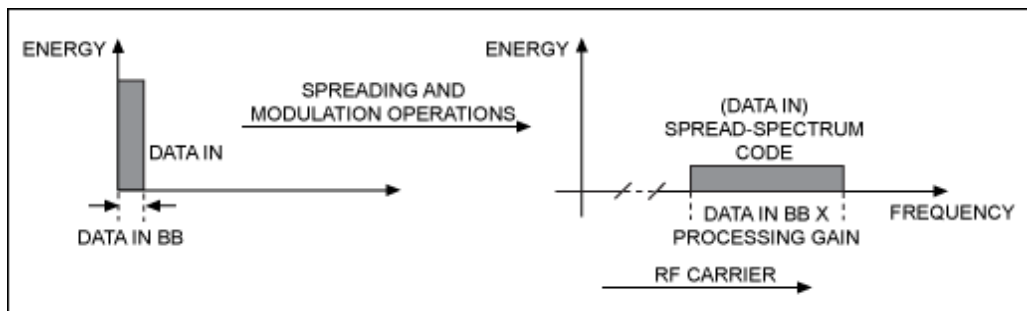


Figura 3.7: Spreading: distribuzione dell'energia del segnale su una banda più ampia [70]

Lo scopo di ciò è quello di stabilire comunicazioni sicure, aumentare la resistenza a rumore, interferenze e inceppamenti, impedire il rilevamento e limitare il flusso di densità di potenza(ad es. nei collegamenti via satellite).

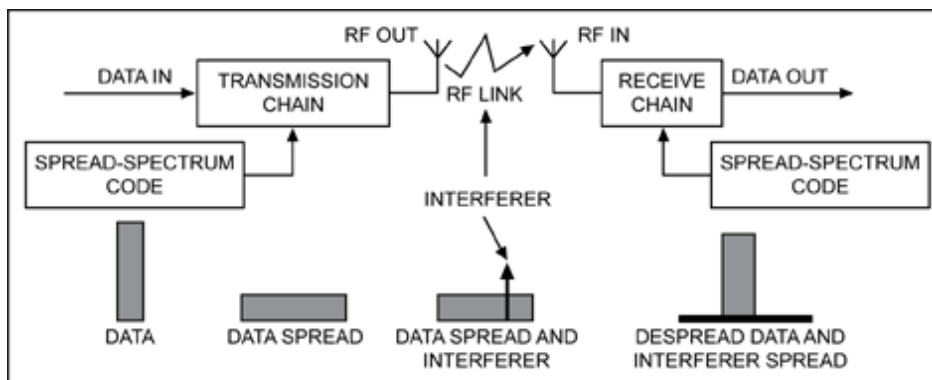


Figura 3.8: Resistenza alle interferenze: col despreading, mentre il segnale viene riportato alle condizioni originarie, l'energia dell'interferenza viene distribuita [70]

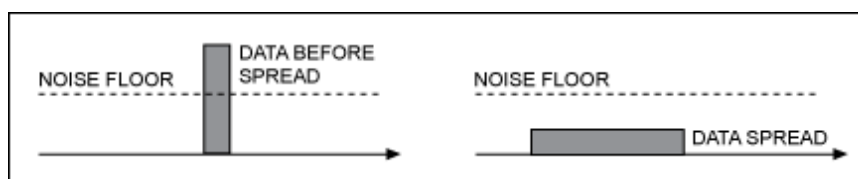


Figura 3.9: Resistenza alle intercettazioni: il segnale si trova sotto il livello del rumore e il ricevitore non può captare la trasmissione senza le opportune chiavi [70]

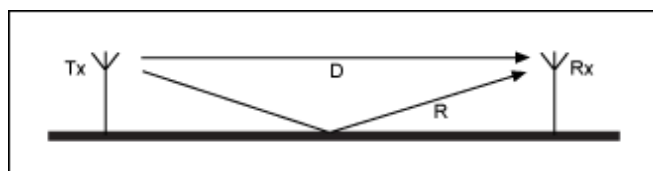


Figura 3.10: Resistenza al fading: il processo di despreading è sincronizzato sul percorso D, quindi R non può interferire se non contiene la stessa chiave [70]

In questa tecnica di strutturazione del segnale, nota sin dal 1940, vengono implementati: la sequenza diretta, il salto di frequenza o una versione ibrida delle due che può essere usata per l'accesso multiplo.

Per la distribuzione del segnale su una banda più ampia si fa uso di un rumore sequenziale poi il ricevitore correla il segnale ricevuto per recuperare le informazioni originali.

Le motivazioni originali riguardavano la resistenza agli attacchi nemici nelle comunicazioni militari o il fatto di poter nascondere una comunicazione ancora in corso, anche detta bassa probabilità d'intercettazione(LPI), mentre oggi l'impiego avviene anche nelle reti wireless(WLAN) con lo standard IEEE 802.11.

Le versioni sviluppate sono quattro: DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), THSS(Time Hopping Spread Spectrum) e CSS(Chirp Spread Spectrum), le prime tre utilizzanti sequenze di numeri pseudocasuali, per determinare e controllare il modello di diffusione del segnale attraverso la banda assegnata.

Nella resistenza alle interferenze DSSS resiste meglio ai disturbi a banda stretta tempo-continui, mentre FHSS prevale riguardo al disturbo degli impulsi.

Nei sistemi DS le interferenze a banda stretta influiscono maggiormente sulla capacità di detenzione se l'energia del disturbo si distribuisce su tutta la banda, quando spesso non sarà più forte del rumore.

Invece nei sistemi a banda stretta la qualità del segnale ricevuto sarà molto ridotta se l'energia del disturbo si viene a concentrare sulla banda del segnale.

Nella resistenza alle intercettazioni il codice di spreading nei sistemi DS o il modello frequency-hopping negli FH è spesso sconosciuto da chiunque per il quale il segnale non è intenzionale, così il segnale viene crittografato e vengono ridotte le possibilità per gli avversari di poterlo rilevare.

Oltre a ciò per una data densità spettrale di potenza del rumore, i sistemi SS richiedono la stessa quantità di energia per bit prima di diffondere come sistemi a banda stretta e la stessa quantità di energia se la bit-rate prima della diffusione è la stessa, ma siccome il segnale di alimentazione è esteso su un'ampia banda, la potenza del segnale è spesso inferiore a quella del rumore, non consentendo all'avversario di stabilirne l'entità.

Per ciò che riguarda la resistenza al fading si ha una diversità di frequenza offerta dai segnali SS a banda larga, perciò è improbabile che il segnale incontrerà cammini multipli di dissolvenza grave sulla sua banda, mentre per l'accesso multiplo si utilizza il CDMA dove più utenti possono trasmettere contemporaneamente sulle stesse frequenze, ma con codici diversi che servono per poter distinguere i segnali. [32] [33]

Di seguito si descrivono più in dettaglio le varie tipologie:

▲ DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)

Una sinusoide viene modulata pseudocasualmente con una stringa continua di simboli di codice di pseudo-rumore(PN) chiamati "chip", ciascuno con una durata più breve rispetto ad un bit d'informazione, così ogni bit d'informazione è modulato da una sequenza di chip più veloci e la velocità di chip risulta molto maggiore del tasso di bit del segnale d'informazione.

La sequenza dei chip è già nota al ricevitore per cui può usare la stessa sequenza PN per bilanciare l'effetto di questa sul segnale ricevuto, in modo da ricostruire il segnale d'informazione.

Le trasmissioni DSSS moltiplicano i dati trasmessi da un segnale di "rumore", che è una sequenza di 1 e -1 a frequenza maggiore di quella del segnale originale.

Il segnale risultante simile a rumore bianco può ricostruire i dati originali moltiplicando se stesso per la sequenza($1*1=1$, $-1*-1=1$), andando a costituire un processo di de-spreading che ha come effetto un miglioramento del rapporto segnale-rumore sul canale chiamato guadagno di processo, il quale può essere migliorato impiegando più chip e una sequenza PN più lunga.

I vantaggi di questa tecnica sono: resistenza alle interferenze, condivisione di un singolo canale tra più utenti, riduzione del segnale-rumore di sottofondo per contrastare le intercettazioni e determinazione della tempistica tra trasmettitore e ricevitore.[34]

▲ FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)

Si tratta di un metodo di trasmissione di segnali radio che commuta una portante tra diversi canali di frequenza, usando una sequenza pseudocasuale nota sia al trasmettitore che al ricevitore.

Viene impiegato come metodo di accesso multiplo nella moltiplicazione a divisione di codice CDMA-FH e presenta i seguenti vantaggi rispetto ad una trasmissione con frequenza fissa:

-miglior resistenza alle intercettazioni perché nel processo di raccoglimento di un segnale SS, il segnale interferente viene distribuito e passa in 2° piano;

-difficoltà d'intercettazione perché un segnale FHSS appare come un aumento del rumore di fondo di un ricevitore a banda stretta, è possibile intercettare la trasmissione solo se è nota la sequenza pseudo casuale;

-le trasmissioni SS possono condividere una banda con trasmissioni convenzionali senza interferenza, i segnali SS aggiungono il minimo rumore alle frequenze di comunicazione e viceversa, così si può impiegare la banda in modo più efficiente.[35]

▲ THSS(Time Hopping Spread Spectrum)

Quella del Time Hopping è una tecnica che si può utilizzare per ottenere un anti-bloccaggio o una bassa probabilità d'intercettazione, ma si può anche riferire alla modulazione a posizione d'impulsi, che impiega 2^k impulsi discreti (riferendosi alle uniche posizioni dell'impulso nella finestra di trasmissione) per trasmettere k bits per impulso.

Per avere una LPI il tempo di trasmissione viene cambiato casualmente, variando il periodo e il duty-cycle dell'impulso con una sequenza pseudocasuale, quindi il segnale trasmesso avrà un inizio intermittente e tempi di arresto.

Spesso il THSS viene usato per formare ibridi SS come il TH-FHSS o ibrido TDMA(Time Division Multiple Access) e la distribuzione dello spettro è causata da altri fattori associati a TH come l'uso d'impulsi con un basso duty-cycle e un'ampia risposta in frequenza.[36]

▲ CSS(Chirp Spread Spectrum)

Si tratta di una tecnica ad ampio spettro che utilizza degli impulsi chirp lineari modulati in frequenza per codificare l'informazione: il chirp è un segnale sinusoidale la cui frequenza aumenta o diminuisce oltre un certo periodo di tempo.

Come altre tecniche SS impiega l'intera banda allocata per trasmettere il segnale, rendendolo resistente al rumore del canale, inoltre è resistente alla dissolvenza dei cammini multipli anche quando opera con basse potenze.

Ad ogni modo è diverso dal DSSS e dal FHSS, in quanto non aggiunge elementi pseudocasuali al segnale per distinguerlo dal rumore sul canale, mentre si basa sulla linearità degli impulsi chirp.

Un altro vantaggio è quello di essere resistente all'effetto Doppler, tipico nelle applicazioni radiomobili, che consiste nel cambiamento apparente della frequenza o della lunghezza d'onda di un'onda percepita da un osservatore in quiete o in movimento rispetto alla sorgente delle onde.[37]

Le applicazioni utilizzando la tecnica SS sono designate per lavorare su livelli di trasmissione molto bassi: per rilevare e decodificare questi segnali si può avere un'alta ridondanza nel segnale trasmesso oppure un'elevata accuratezza e sensibilità nella tecnologia usata.

Con la tecnica Spread Spectrum si ottengono diversi vantaggi quali una migliore resistenza al rumore e alle interferenze e si possono rendere le comunicazioni più sicure contro possibili intercettazioni.

Inoltre il rapporto segnale-rumore è basso col risultato che non si hanno problemi con le irradiazioni, ma spesso è richiesto un range di frequenze maggiore per trasmettere su una certa banda e ciò determina una scarsa efficienza di modulazione.[33]

3.2 Applicazioni a banda larga

3.2.1 OFDM

L'OFDM(Ortogonal Frequency Division Multiplexing) è una tecnica di modulazione dei dati digitali su frequenze portanti multiple, complessa ma molto efficace, in grado di trasmettere ad elevate data-rate.

Viene sviluppata a partire dagli anni '60 e ad oggi ha numerosi impieghi nella comunicazione digitale a banda larga, sia wireless che su fili in rame, come la trasmissione audio e video in digitale (DAB e DVB), l'accesso ad internet a banda larga (xDSL), le reti wireless e le comunicazioni mobili 4G.

Il flusso dei dati complessivo ad alta velocità viene diviso in diversi flussi tra loro paralleli che vengono trasmessi a velocità inferiori, invece lo spettro viene sezionato in bande ristrette occupate da una serie di sottoportanti ortogonali tra loro.

Ognuno dei flussi viene poi associato ad una sottoportante che viene modulata con tecniche tradizionali quali la BPSK e la QPSK in fase o la QAM in quadratura a bassi symbol-rate, mantenendo data-rate totali simili agli schemi di modulazione a singola portante nella stessa banda.

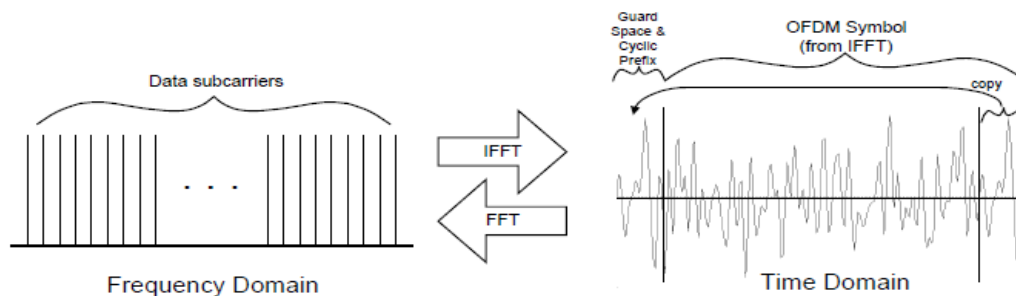


Figura 3.11: Trasformata dal dominio delle frequenze a quello del tempo. con aggiunta del prefisso ciclico [39]

Il vantaggio principale di questi schemi è quello di poter operare in condizioni di canale critiche come per es. l'attenuazione di alte frequenze in un filo di rame lungo, l'interferenza a banda stretta o il fading selettivo dovuto ai cammini multipli, senza dover usare complicati filtri di equalizzazione.

Questi infatti vengono semplificati perché si usano tanti segnali a banda stretta modulati lentamente piuttosto che uno a banda larga velocemente.

Il basso symbol-rate rende l'uso di un intervallo di guardia tra simboli conveniente, determinando l'eliminazione dell'interferenza intersimbolo e con l'uso di echi e tempo-diffusione si ottiene un miglioramento del rapporto segnale-rumore.[38]

▲ Modello del trasmettitore

Il segnale $s[n]$ presente all'ingresso del trasmettitore è un flusso seriale di cifre binarie, il quale con l'applicazione di una moltiplicazione inversa viene prima suddiviso in N flussi paralleli, poi ciascuno viene mappato in un simbolo facente parte della costellazione di una modulazione.

Occorre notare che le varie costellazioni possono essere diverse in base alla modulazione utilizzata (PSK, QAM, etc.) per cui alcuni flussi possono avere bit-rate maggiori di altri.

A questo punto viene applicata sui simboli una FFT (Fast Fourier Transform) inversa, che da origine a una serie di campioni complessi nel dominio del tempo, i quali poi in modo standard vengono posti in quadratura.

Sia la parte reale che quella immaginaria vengono convertite in segnali analogici con dei convertitori DAC (Digital to Analog Converter), poi questi segnali vengono impiegati per modulare rispettivamente le onde coseno e seno alla frequenza portante f_c , infine vengono sommati per fornire in uscita il segnale di trasmissione $s(t)$.

A lato ricevitore vengono applicate sui segnali le operazioni inverse.

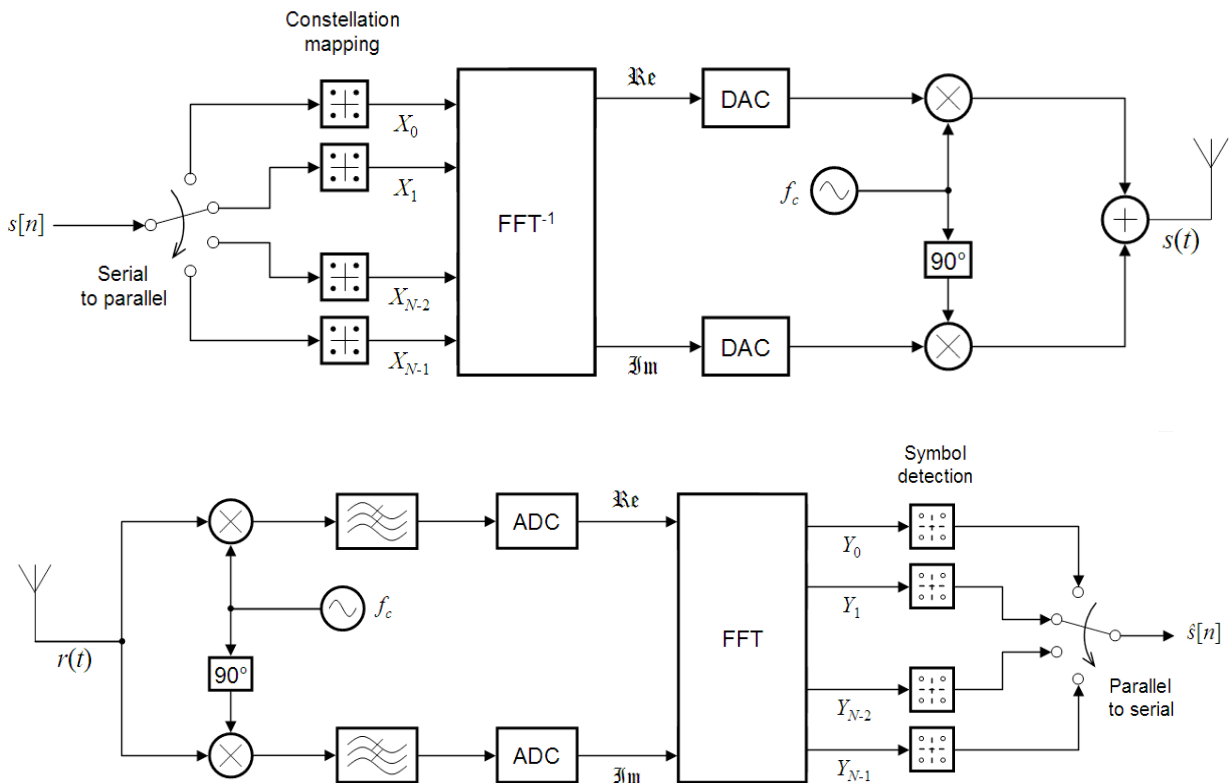


Figura 3.12: Sistema di trasmissione OFDM [38]

⤴ Ortogonalità

Per ottenere l'ortogonalità si separano le sottoportanti con distanze pari all'inverso del bit-rate di ognuna, in modo che quando si effettua la FFT del segnale ricevuto su un intervallo temporale pari al bit-rate della portante considerata, il valore di ogni punto della FFT è funzione solo dei bit che hanno modulato quella portante e non è influenzato dai dati che modulano tutte le altre.

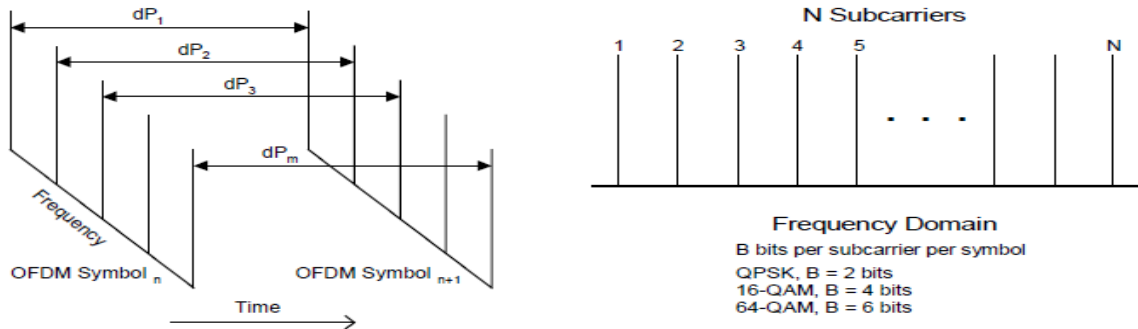


Figura 3.13: Codifica di fase differenziale dei simboli e modulazioni tradizionali [39]

L'ortogonalità permette di avere un'efficienza spettrale alta con un symbol-rate totale vicino al Nyquist-rate per l'equivalente segnale in banda base, comporta una semplificazione del trasmettitore e del ricevitore e avendo uno spettro bianco ha proprietà d'interferenza magnetiche benigne rispetto agli altri utenti del canale.

L'unico svantaggio è quello di essere sensibile all'effetto Doppler.

⤴ Interferenza intersimbolo

Uno degli aspetti importanti dell'OFDM è che dal momento che gli schemi di modulazione a basso symbol-rate risentono molto meno dell'interferenza intersimbolo dovuta alla propagazione dei cammini multipli, trasmettere diversi flussi di dati a banda stretta lentamente è più vantaggioso che trasmetterne uno unico a banda larga velocemente.

Considerato che ogni simbolo ha una lunga durata, è opportuno inserire un intervallo di guardia tra i simboli che va ad eliminare l'interferenza intersimbolo, inoltre elimina la necessità di utilizzare un filtro pulse-shaping e riduce la sensibilità ai problemi di sincronizzazione temporale.

⤴ Equalizzazione

Se la banda occupata da ogni sottoportante è abbastanza ristretta la risposta in frequenza del canale si può considerare costante (piatta) su quelle frequenze e quindi piuttosto semplice da equalizzare.

L'equalizzazione nel dominio delle frequenze diventa possibile al ricevitore ed è più semplice rispetto a quella convenzionale nel dominio temporale, utilizzata nella modulazione a singola portante.

Nell'OFDM l'equalizzatore, che moltiplica ogni sottoportante con ogni simbolo tramite un numero complesso costante, è unico e nel caso si utilizzino modulazioni DPSK o DQPSK applicate ad ogni sottoportante può essere addirittura omesso.

Rispetto alla trasmissione di un unico flusso di dati ad elevato bit-rate si ha una maggiore protezione rispetto al fading selettivo e con l'opportuna allocazione delle portanti si può evitare di lavorare in quelle zone del canale dove l'attenuazione e il rumore sono più consistenti.

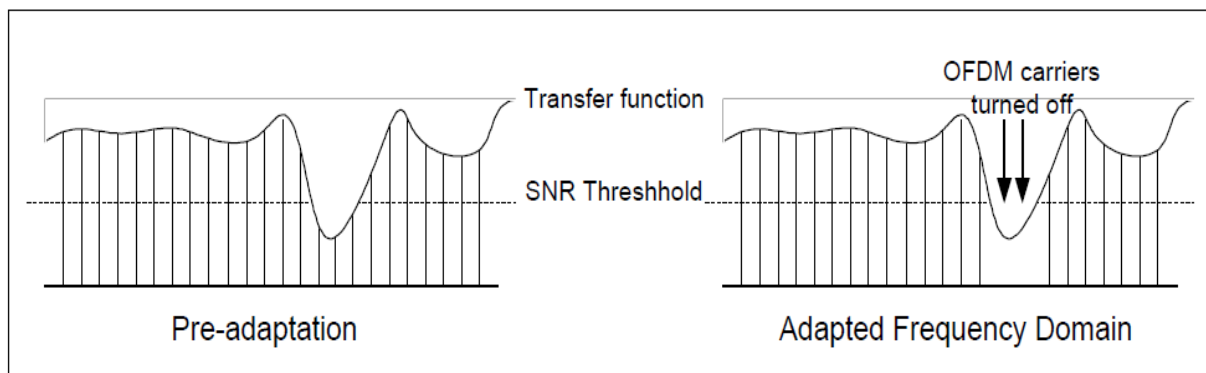


Figura 3.14: Allocazione delle portanti [71]

▲ Codifica di canale e interleaving

L'OFDM viene utilizzato in abbinamento alla codifica di canale e utilizza un interleaving frequenziale o temporale: il primo aumenta la resistenza al fading, infatti quando una parte della banda si dissolve l'interleaving assicura che gli errori di bit che deriverebbero dalle sottoportanti ivi comprese siano distribuiti sul flusso di bit anziché essere concentrati, il secondo, in modo analogo, garantisce che i bit che inizialmente si trovano vicini al flusso di bit trasmessi siano lontani nel tempo.

Tuttavia l'interleaving temporale porta scarsi benefici nei canali con un fading lento e quello frequenziale nei canali dove la larghezza di banda si dissolve allo stesso tempo, quindi la vera ragione dell'impiego risiede nel fatto di poter distribuire gli errori nel flusso di bit che arriva al decodificatore, perché se la quantità di errori è troppo elevata non è più possibile correggerli.

Per quanto riguarda la codifica a correzione di errori si usa quella classica convoluzionale spesso abbinata a quella Reed-Solomon e la scelta del suo utilizzo all'esterno dipende dalla buona capacità di correggere burst di errori, così come il decodificatore di Viterbi usato nella decodifica convoluzionale interna produce brevi errori quando ce n'è un'alta concentrazione.

▲ Efficienza spettrale

L'efficienza spettrale è molto buona raggiungendo valori fino a 5 bit/s/Hz con velocità vicine al limite teorico per una data banda.

Ciò dipende dal fatto che le risposte in frequenza delle sottoportanti sono sovrapposte e ortogonali, che il roll-off spettrale ai bordi della banda dipende da un tempo di simbolo lungo e quindi è più ripido rispetto ad una modulazione convenzionale e che il prefisso ciclico e postfix sono modellati col coseno rialzato, in modo da fornire transizioni uniformi a bordobanda che ne aumentano la pendenza.[38] [39] [40]

In definitiva l'OFDM presenta molti vantaggi soprattutto per poter trasmettere su canali ostili, inoltre offre un'elevata efficienza di modulazione che viene incontro all'esigenza di avere applicazioni con alti bit-rate, anche se la caratteristica di presentare rapporti segnale-rumore alti potrebbe causare problemi d'interferenza con altri soggetti nell'utilizzo ad alte frequenze, per cui è importante la definizione di una normativa che regoli quest'aspetto.[33]

3.3 Media Access Control Layer

Nei sistemi dove il mezzo fisico viene condiviso tra più utenti il MAC assume un ruolo importante, perché consente di gestirne l'accesso e di sfruttarne la capacità nel modo migliore possibile, cercando di evitare situazioni critiche.

3.3.1 Elementi principali e topologia della rete

L'ambito in cui viene impiegato è l'utilizzo della rete elettrica per la copertura dell'ultimo miglio e in questo caso il numero degli utenti coinvolti risulta maggiore di quello dell'impiego delle plc nelle LAN.

La linea elettrica utilizzata per il flusso dati parte dalla stazione di trasformazione dove avviene il collegamento con la rete WAN esterna, che è una normale rete di telecomunicazioni come quella in fibra ottica, e giunge a dei contatori collocati all'interno delle abitazioni, che invece collegano la rete LAN interna.

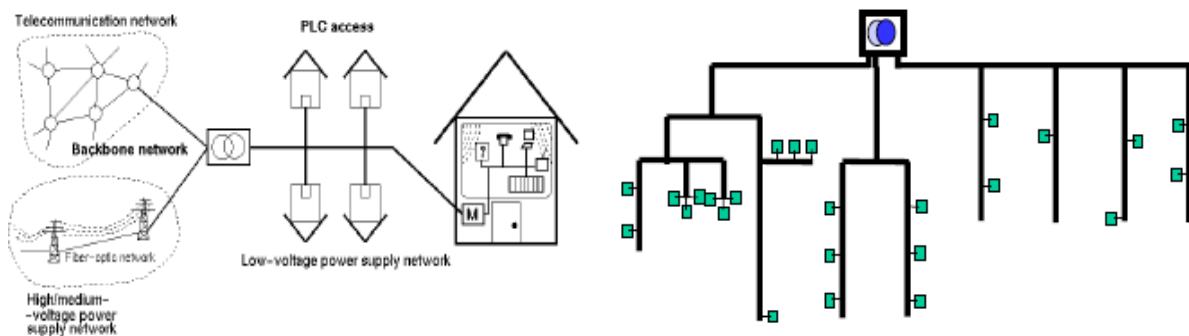


Figura 3.15: Rete plc per la copertura dell'ultimo miglio [41] e Figura 3.16: Struttura della rete [41]

Questo tratto di rete in bassa tensione è influenzato da diversi fattori tutti rilevanti:

- ⤴ Locazione della rete: area residenziale urbana, area residenziale rurale, area industriale, area commerciale
- ⤴ Densità degli utenti: numero di utenti della rete (piccolo, medio o grande), concentrazione degli utenti (case singole, gruppi di case, condomini)
- ⤴ Lunghezza della rete (corta, media o lunga)
- ⤴ Struttura della rete e numero di sottosezioni

La rete che si considera in questo ambito è media, con un numero di utenti compreso tra i 250 e i 400, 5 sezioni con 50/80 utenti per ciascuna e una lunghezza di 500m.

Le direzioni di trasmissione sono due: Downlink/downstream dalla stazione base agli utenti e Uplink/upstream dagli utenti alla stazione base.

In downlink il segnale trasmesso dalla stazione di trasformazione arriva a tutti gli utenti connessi a quella stazione, invece in uplink il segnale inviato dal singolo utente è ricevuto anche da tutti gli altri.

La rete risultante avrà quindi una struttura logica di un bus nonostante le reti elettriche in bassa tensione di solito abbiano una forma ad albero.[33] [41] [42]

3.3.2 Servizi

Per quanto riguarda i servizi si possono suddividere in quattro principali categorie:

- ⤴ Servizi a commutazione di circuito come la telefonia e i servizi CBR;
- ⤴ Servizi a commutazione di pacchetto come la trasmissione dati senza garanzia di QoS;
- ⤴ Servizi specifici PLC;
- ⤴ Servizi di trasmissione dati con garanzia di QoS come i servizi VBR.

Nella categoria dei servizi specifici rientrano quelli già noti dell'home automation, gestione del contatore e sistemi di allarme, oltre a questi bisogna aggiungere quello della telefonia e di accesso ad internet per ragioni di mercato, più una serie di servizi particolari.

Il CBR(Costant Bit Rate) è un servizio di trasmissione a grande capacità e comprende tutte quelle applicazioni che non possono operare se non viene raggiunto un preciso bit-rate.

Le applicazioni VBR(Variable Bit Rate) invece sono quelle che richiedono un bit-rate minimo: ogni aumento della capacità della rete porta ad un miglioramento della qualità del servizio, fino ad un valore limite (peak bandwidth) oltre il quale non si hanno più sostanziali miglioramenti.

Il QoS è un parametro che serve a valutare la qualità del servizio offerto basata sul grado di soddisfazione del cliente ed è variabile in base ai parametri delle applicazioni.[33] [41] [42] [43]

3.3.3 Sistema di trasmissione

La tecnica di trasmissione impiegata è l'OFDM, che prevede 3 possibilità per la gestione della capacità del canale:

- ▲ Canale di trasmissione a capacità fissa, formato da un numero determinato di sottoportanti ognuna con la stessa capacità di trasmissione;
- ▲ Canale di trasmissione a capacità variabile, formato da un numero determinato di sottoportanti ognuna con capacità di trasmissione variabile;
- ▲ Canale di trasmissione a capacità predefinita, formato da un numero di sottoportanti variabile in base alle loro singole capacità trasmissive.

Nel primo caso le sottoportanti sono sempre le stesse quindi l'indisponibilità anche solo di una determina l'indisponibilità del canale.

Nel secondo questa si può evitare diminuendo la capacità delle sottoportanti disturbate, ma questo porterà ad una diminuzione della capacità totale del canale con possibili disturbi al servizio supportato, evitabili solo con la riallocazione dei canali sui vari servizi in funzione delle capacità disponibili.

Nel terzo caso le sottoportanti sono sempre diverse e vengono ogni volta raggruppate in base alle loro singole capacità e alla capacità di trasmissione totale richiesta.[33] [41] [42]

3.3.4 Disturbi

Sul canale si possono verificare sostanzialmente due tipologie di disturbo: il rumore di fondo e il rumore impulsivo, che si possono affrontare con 3 metodi(SNR, durata del simbolo e FEC), oltre al fatto di poter effettuare la riallocazione dei canali.

Per contrastare il rumore di fondo si può scegliere un adeguato SNR, mantenendo il livello del segnale più alto di quello del rumore, ma non bisogna eccedere per non avere problemi d'irradiazione.

Nel caso del rumore impulsivo ciò non si può fare perché ha un livello di potenza maggiore anche se per un intervallo di tempo limitato, allora si possono trasmettere simboli di durata maggiore di quella media del disturbo, ciò è possibile con l'OFDM.

Come terzo strumento si possono usare metodi di correzione d'errore come i FEC, ma questo non significa che si abbia la garanzia assoluta di poter trasmettere correttamente i dati, in alcuni casi è necessario ritrasmetterli.

Per fare ciò si usa il meccanismo ARQ(Automatic Repeat Request) che riduce notevolmente la probabilità d'errore, ma è caratterizzato da ritardi non indifferenti per la ritrasmissione, quindi per certi servizi come quello vocale non è adatto.

[41] [42] [43]

3.3.5 Analisi dei protocolli MAC

La scelta dell' accesso al canale, dal momento che consideriamo un sistema basato sull'OFDM, ricadrà sull'OFDMA il quale dovrà essere abbinato ad un metodo duplex di trasmissione, che può essere di due tipologie: FDD(Frequency Division Duplex) e TDD(Time Division Duplex).

Per realizzare uno schema duplex di ciascuna tipologia ci sono tre soluzioni:

- ⤴ Modalità simmetrica con la stessa capacità per entrambe le direzioni di downlink e uplink;
- ⤴ Modalità asimmetrica con capacità diverse ma fisse sulle due direzioni;
- ⤴ Modalità dinamica con capacità variabile.

Dal momento che nel traffico internet in genere gli utenti trasmettono file di minori dimensioni rispetto a quelli scaricati, la soluzione migliore sembra essere quella asimmetrica che prevede capacità diverse per le due direzioni.

La soluzione dinamica, che invece varia la percentuale di capacità assegnata in base al traffico, consentirebbe di sfruttare meglio la rete, ma comporta una maggiore complessità nella realizzazione.

Per l'organizzazione dell'accesso alla capacità del canale si possono assumere due possibilità: l'accesso fisso dove ad ogni utente è assegnata una data capacità indipendente dalla necessità di trasmissione di dati del momento e l'accesso dinamico dove invece la capacità assegnata ad ogni utente è variabile.

Il primo metodo è indicato per un traffico continuo come quello telefonico mentre il secondo è adeguato per un traffico dati come quello delle plc.

Esistono due protocolli di accesso dinamico: contention protocols con collisioni e arbitration protocols senza collisioni.

I primi si occupano di evitare collisioni tra utenti di reti diverse, ma non offrono garanzie di QoS per servizi a breve tempo di attesa e non consentono di sfruttare al meglio la rete, quindi non sembrano adatti per le reti plc.

Gli arbitration protocols si possono realizzare in tre modi: token passing, polling method e reservation protocols.

I primi due metodi offrono buone garanzie di QoS, ma nel caso il numero di utenti s' incrementi abbastanza i tempi di attesa possono allungarsi molto, specie per servizi a criticità temporale come quelli delle plc, a causa del tempo necessario al messaggio d'interrogazione per compiere il giro completo della rete.

Nel caso dei reservation protocols si effettua una pre-riserva della capacità ad un utente in accordo con la sua richiesta di trasmissione derivata dalla sua necessità; la richiesta è sottoposta ad un'unità centrale che utilizza sia schemi ad accesso fisso che dinamico.

Questi protocolli sono adatti per il traffico ibrido, cioè derivante da vari servizi, con una velocità di trasmissione variabile, inoltre garantiscono il QoS e permettono una buona gestione dell'utilizzo della rete, rendendoli la soluzione migliore da impiegare nelle plc.

[42] [43] [44]

3.3.6 Organizzazione del MAC

Dal momento che si vuole rendere possibile la trasmissione di una molteplicità di servizi differenti, per avere una garanzia di QoS, si decide di applicare un diverso trattamento a ciascuno con una graduatoria di priorità.

Per semplicità si considerano due tipologie di servizi (quello telefonico e quello di trasmissione dati), si attribuisce una maggiore priorità al primo e si utilizzano canali con la capacità di 64Kbps.

Tutti i canali disponibili vengono subito assegnati al traffico telefonico, mentre i rimanenti vengono usati per il traffico dati, dopodiché con l'arrivo di ogni nuova connessione voce si ha una riduzione della capacità di trasmissione dati di 64Kbps, che corrisponde alla sottrazione di un canale.

La parte di capacità riservata al traffico dati viene ripartita tra gli utenti che devono trasmettere dati in base al servizio specifico, tramite il canale del protocollo di segnalazione.

Per ottenere un'organizzazione efficiente del traffico dati, considerando la presenza di disturbi che possono influenzare negativamente la trasmissione, la scelta porta ad una suddivisione dei dati trasmessi da ogni utente in piccole unità o segmenti di durata prefissata.

Così facendo si rischia di danneggiare soltanto una minima parte dei dati e la ritrasmissione dei segmenti danneggiati può essere gestita dall'ARQ, con l'utilizzo di una parte ridotta della capacità trasmissiva locale.

Questo vantaggio però è controbilanciato da una maggiore complessità delle operazioni di impacchettamento dei dati nei segmenti e viceversa, oltreché dall'aggiunta di particolari etichette, con conseguente aumento del tempo di trasmissione.[42] [45]

Il protocollo di segnalazione, dato il ridotto numero di canali a disposizione, ne occuperà soltanto uno: si tratta di un protocollo di tipo riservato che deve garantire un'efficiente trasmissione delle richieste di connessione degli utenti alla stazione base in uplink e un ottimo utilizzo della capacità di trasmissione in downlink.

Ci sono vari protocolli che possono essere adatti alle reti plc, ma data la somiglianza con l'organizzazione della segnalazione nelle reti wireless, per quanto riguarda le tecniche di trasmissione e la presenza di disturbi, si possono adottare soluzioni analoghe.

Ecco due protocolli con caratteristiche opposte: l'ALOHA un contention protocol con un utilizzo della rete possibile molto basso e il Polling che provvede ad assegnare slot dedicati ad ogni nodo della rete.

Nel primo caso una stazione prova a trasmettere la richiesta alla stazione base sul canale di segnalazione, poi aspetta la risposta con le informazioni sui diritti di accesso per la trasmissione richiesta.

Se si verifica una collisione con la richiesta di un'altra stazione entrambe provano a ritrasmettere dopo un certo periodo di tempo.

Nel secondo caso la stazione base invia messaggi di polling ad ogni stazione in accordo con la procedura Round Robin: quella che riceve il messaggio ha diritto a trasmettere la richiesta, per poi ricevere dalla stazione base le informazioni necessarie per l'accesso.

Facendo un confronto tra i due protocolli, l'ALOHA che viene impiegato anche sulla rete GSM, offre una minore sensibilità ai disturbi e una maggiore velocità d'accesso, a patto però di avere un numero di utenti e di collisioni limitato.[43] [44]

Capitolo 4 Le linee elettriche alle alte frequenze

Le reti powerline utilizzano le linee elettriche in bassa tensione, che come stabilito dalla normativa CENELEC EN50065-1, impiegano un campo frequenziale abbastanza ristretto con basse frequenze.

Le applicazioni che lavorano in questo range utilizzano tecniche di modulazione tradizionali come la PSK o la QAM e tecniche a spettro espanso, che garantiscono buone efficienze di modulazione ma non consentono di ottenere alti bit-rate.

Per fare ciò occorre utilizzare tecniche più evolute come l'OFDM e lavorare con frequenze più alte, quindi in questo capitolo si studia il comportamento delle linee elettriche in bassa tensione alle alte frequenze considerando prima la rete esterna e poi quella interna.

Occorre tener conto che il mezzo è stato progettato originariamente per uno scopo diverso che è il trasporto della corrente, perciò è caratterizzato da una topologia abbastanza varia, inoltre si raggiunge un discreto livello in termini di attenuazione e rumore, che tra l'altro variano in base alla connessione o disconnessione alla rete dei dispositivi elettrici.

L'attenuazione può essere causata dai partitori di tensione, nelle induttanze di cavo o nei carichi di shunt(pannelli di caricamento, capacitori EMC), oppure dalla perdita dell'accoppiamento di fase.

Le figure seguenti mostrano il livello di attenuazione delle linee elettriche domestiche e la dipendenza dell'attenuazione, considerando sia il modulo che la fase, dalla frequenza.

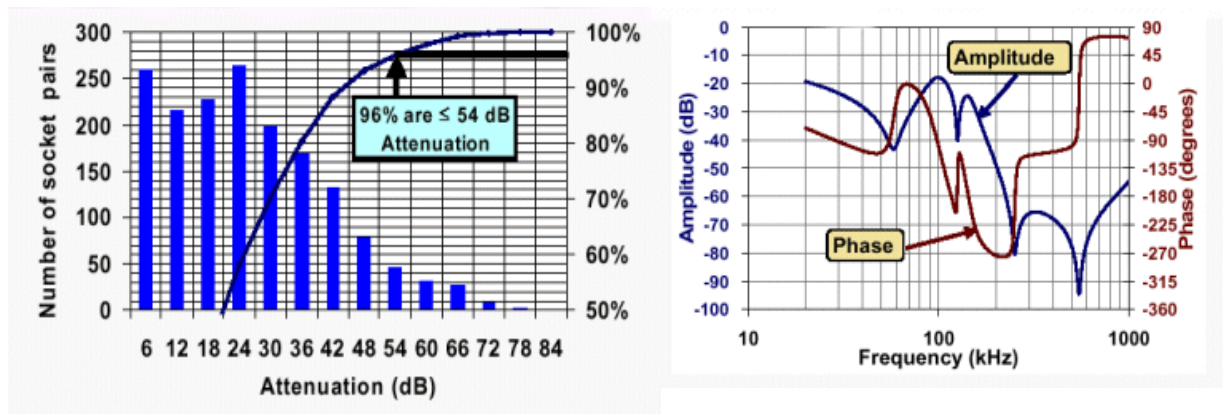


Figura 4.1: Livello di attenuazione delle linee domestiche [18] e Figura 4.2: Andamento dell'attenuazione in funzione della frequenza [18]

Il rumore può essere causato da vari dispositivi elettrici: dimmers o regolatori di luce che producono larghi impulsi a 100Hz o 120Hz, accensione/spengimento di dispositivi di potenza ricchi di armoniche fino a 1MHz, linee di alimentazione dei citofoni con tensioni picco-picco che vanno da 3Vpp a 7Vpp tra 150 e 400KHz e motori universali quali quelli dei trapani, degli apparecchi in cucina o delle aspirapolveri, con impulsi ad alta ripetizione.

Le figure seguenti mostrano l'andamento in frequenza del livello di rumore dei dispositivi sopracitati.

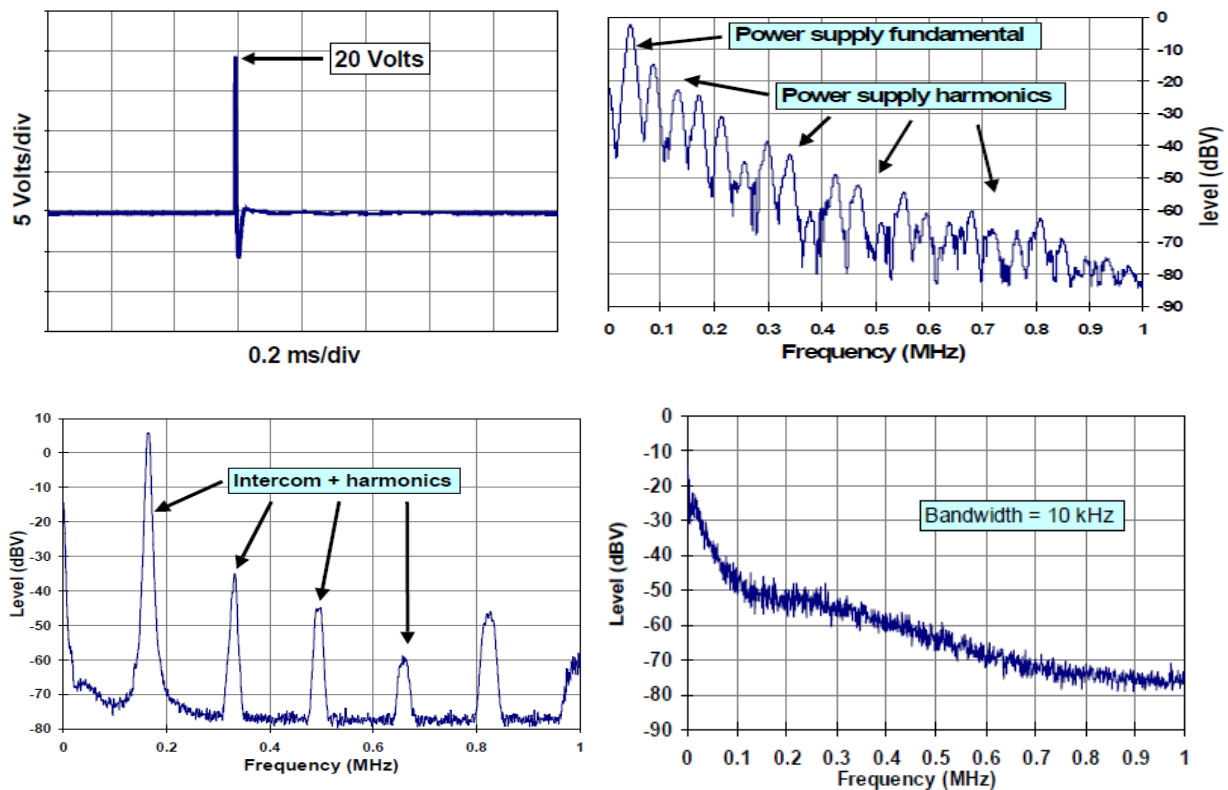


Figura 4.3: Rumore generato da (in senso orario): dimmers, accensione dispositivi elettrici, motori universali, linee di alimentazione dei citofoni [72]

Lo scopo di questa parte, dopo aver analizzato le linee sotto diversi aspetti che riguardano l'attenuazione, il rumore e la variazione d'impedenza, è quello di capire se il mezzo che si utilizza può essere adatto anche in queste circostanze.[1] [18]

4.1 Comportamento della rete elettrica esterna in bassa tensione

4.1.1 Topologia della rete

Per rete elettrica esterna s'intende quella parte della rete di distribuzione in bassa tensione compresa tra l'ultima stazione di trasformazione e le abitazioni.

Viene anche denominata "local loop access network" e dal punto di vista topologico ha una struttura ad albero o a stella, presentando una somiglianza con la rete radio mobile, costituita da stazioni di trasformazione o stazioni base e una serie di celle.

Facendo però un confronto tra le due reti si osserva che la rete telefonica presenta collegamenti punto-punto tra le stazioni e le abitazioni, mentre quella di distribuzione ha la struttura logica di un bus, inoltre comparando le funzioni di trasferimento, si nota che quella delle reti powerline è maggiormente stazionaria.[46]

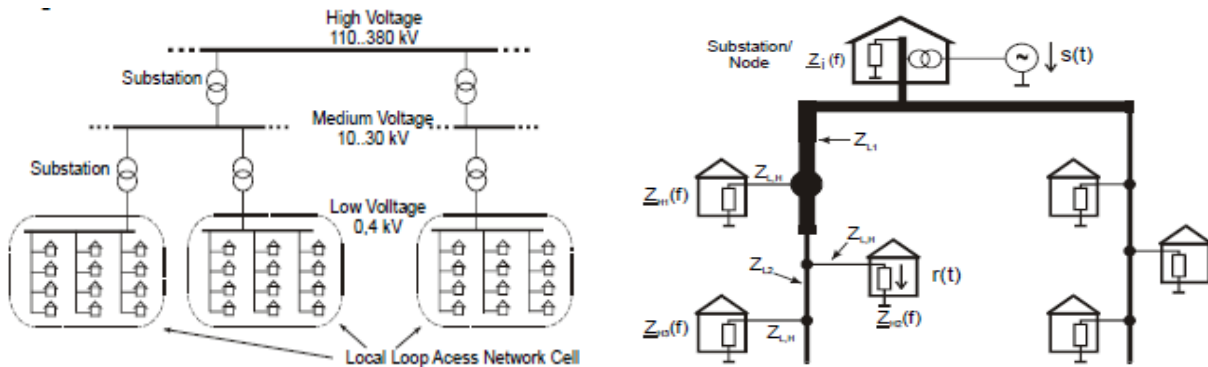


Figura 4.4: Rete di distribuzione dell'energia elettrica [46] e Figura 4.5: Rete esterna [46]

4.1.2 Propagazione del segnale e attenuazione

Si considera un canale lineare tempo-invariante, caratterizzato da una funzione di trasferimento $H(f)$, o dalla risposta impulsiva $h(t)$: si tratta di un' approssimazione perché in realtà le linee elettriche hanno caratteristiche tempo-varianti, ma diversi studi hanno dimostrato che i cambiamenti che si verificano sono minimi per cui è corretta.

Il rumore presenta un andamento variabile per quanto riguarda le sue proprietà statistiche, ma le sue caratteristiche fondamentali rimangono invariate nel tempo.

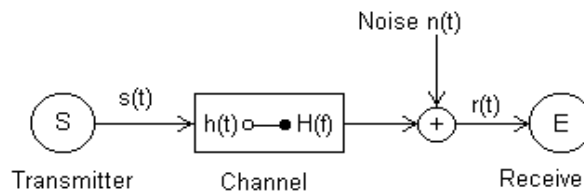


Figura 4.6: Generico modello di canale [47]

La propagazione del segnale lungo le linee elettriche è contrastata da un'attenuazione che dipende direttamente dalla frequenza f e dalla distanza dal trasmettitore d , oltretutto da diverse riflessioni causate dalle giunzioni tra cavi con differenti impedenze caratteristiche e dalle diramazioni verso le case.

L'effetto prodotto consiste nella formazione di cammini multipli e di fading selettivo in frequenza, che determinano la seguente funzione di trasferimento per il canale:

$$H_f = \sum_{i=1}^N g_i A(f, d_i) e^{(j2\pi f \tau_i)}$$

dove ogni percorso i ha un peso g_i , una lunghezza d_i e un ritardo τ_i .

A rappresenta l'attenuazione e si può esprimere in funzione della frequenza e della distanza:

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

con a_0 , a_1 e k parametri di attenuazione.

Sostituendo il termine dell'attenuazione nella funzione di trasferimento si ottiene:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i e^{-(a_0 + a_1 f^k)d} e^{-j2\pi f \frac{d_i}{v_p}}$$

Il termine g_i è il fattore peso del percorso i -esimo (in genere complesso) e può essere interpretato come il fattore di riflessione/trasmissione di quel percorso, il termine centrale è quello dell'attenuazione, l'ultimo termine invece rappresenta il ritardo con v_p che è la velocità di propagazione del segnale e vale $v_p = d_i / \tau_i$.

Nel complesso il numero di parametri per rappresentare la funzione di trasferimento nel range di frequenze tra 500KHz e 20MHz non è elevato, con l'accuratezza di $H(f)$ che dipende dal numero totale di cammini considerati N .

La topologia della rete è molto varia, infatti ogni collegamento ha proprietà caratteristiche che riguardano la propagazione del segnale e lo spettro del rumore.

Nonostante ciò, diverse misure eseguite sui collegamenti, hanno mostrato come questi abbiano delle somiglianze per quanto riguarda la lunghezza, il numero dei cavi e delle diramazioni e l'attenuazione.

Questo fatto consente di poter effettuare una classificazione dei canali in base a questi parametri rappresentativi, in modo da avere dei canali di riferimento (RC), che contengono dei gruppi specifici di collegamenti.

Si considerano 4 canali di riferimento:

- ⤴ RC1: che rappresenta link di 100m senza diramazioni;
- ⤴ RC2: che rappresenta link di 110m con 6 diramazioni;
- ⤴ RC3: che rappresenta link di 210m con 8 diramazioni;
- ⤴ RC4: che rappresenta link che si possono trovare in aree residenziali, senza una struttura di rete definita in modo specifico.

Di seguito si riportano i grafici che mostrano la risposta in frequenza e la risposta impulsiva per ogni canale:

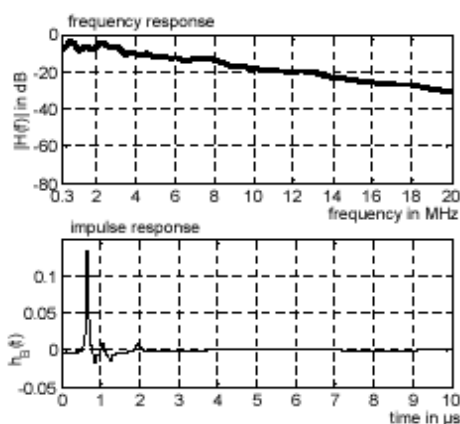


Figure 1: reference channel 1 (RC1)

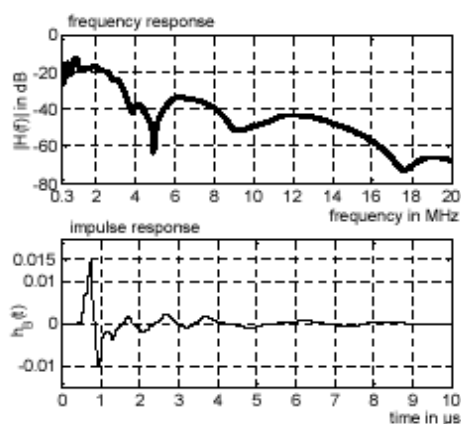


Figure 2: reference channel 2 (RC2)

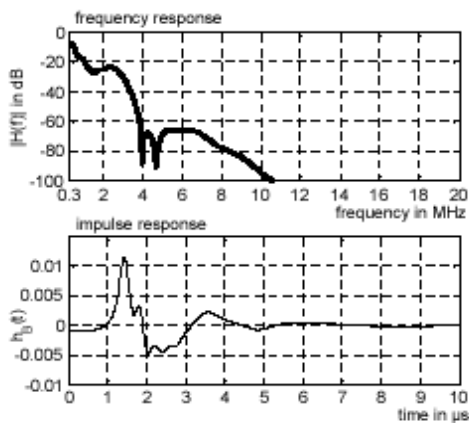


Figure 3: reference channel 3 (RC3)

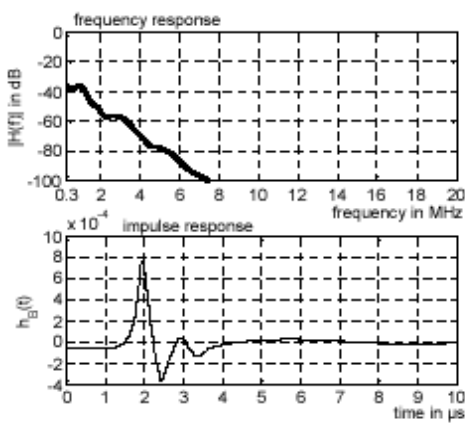


Figure 4: reference channel 4 (RC4)

Figura 4.7: Risposta in frequenza e impulsiva dei canali RC1-RC4 [48]

Il canale RC1 è adatto per le powerline avendo pochi punti di riflessione: nelle aree residenziali con file di case equidistanti e case che collegano cavi della stessa lunghezza la risposta in frequenza può esibire tagli profondi.

La struttura di rete del canale RC2, che è regolare, con l'aumentare della lunghezza può presentare ripide risposte in frequenza con un fading profondo.

Il canale RC3 mostra un fading molto accentuato, con un aumento dell'attenuazione di 50dB in 1MHz e anche il canale RC4 è caratterizzato da un'elevata attenuazione a causa delle sue numerose diramazioni, dunque per trasmettere con questo canale è necessario disporre di una potenza di segnale molto alta al trasmettitore.[46] [48]

4.1.3 Rumore

A differenza di altri canali di comunicazione, in quello powerline non è presente soltanto il rumore Gaussiano bianco additivo (AWGN), ma si ha un rumore che è dato dal contributo di cinque termini diversi: dipende dai dispositivi elettrici connessi alla linea e può cambiare molto rapidamente. Di seguito sono elencate le varie tipologie di rumore:

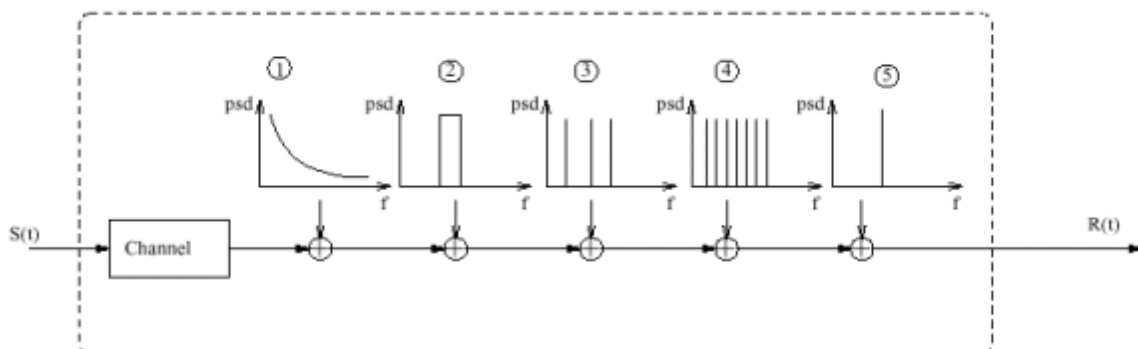


Figure 4.8: Contributi di rumore sulle linee elettriche ad alta frequenza [44]

- ⤴ Rumore di fondo colorato: è la somma di diverse sorgenti di rumore a bassa potenza, che variano lentamente su lunghi periodi di tempo. La sua densità spettrale di potenza (PSD) decresce all'aumentare delle frequenze con una media di 35dB/decade fino a 10KHz e un tasso inferiore ad alte frequenze.
- ⤴ Rumore a banda stretta: questo rumore è confinato in una parte ristretta della banda ed è causato dall'ingresso delle stazioni di radiodiffusione che trasmettono nelle bande a onde corte e medie. Il suo livello in genere è variabile durante il giorno, mentre di notte aumenta a causa della riflessione atmosferica.
- ⤴ Rumore impulsivo periodico, asincrono alla frequenza principale: di solito è causato dall'accensione o spegnimento di dispositivi elettrici ed ha impulsi che si trovano in uno spettro a righe discrete, distanziate in base alla frequenza di ripetizione compresa tra 50 e 200KHz.
- ⤴ Rumore impulsivo periodico, sincrono alla frequenza principale: è generalmente causato da dispositivi che operano sincronizzati con la frequenza principale. Gli impulsi sono di breve durata (qualche microsecondo) con una frequenza di ripetizione di 50 o 100Hz e hanno una PSD decrescente all'aumentare della frequenza.
- ⤴ Rumore impulsivo asincrono: viene generato dai transistori degli interruttori e ha impulsi di durata compresa tra i microsecondi e i millisecondi. È considerato il tipo di rumore più fastidioso per le PLC in quanto la sua PSD può superare anche di 50dB il livello delle altre.

Le prime tre componenti variano molto lentamente nel tempo ed alcune rimangono costanti anche per diverse ore, perciò si può effettuare una semplificazione e considerarle tutte e tre come rumore di fondo.

Le ultime due componenti invece hanno variazioni di microsecondi o millisecondi e producono valori notevoli sulla PSD totale del rumore, quindi vengono classificate come rumore impulsivo.

Nella figura sotto a sinistra è mostrato l'andamento della PSD del rumore di fondo rilevata da opportune misure: fino a 2MHz prevale il rumore colorato poi si può notare la prevalenza del rumore a banda stretta causato dall'interferenza delle stazioni radio, infine tra i 10 e i 16MHz si nota l'effetto del rumore impulsivo periodico, contraddistinto da righe di ampiezza diversa ma equidistanziate di circa 100KHz.

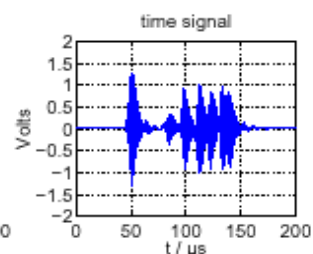
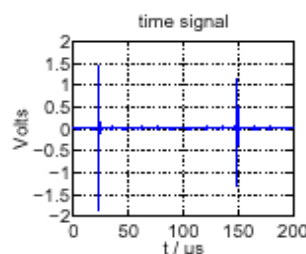
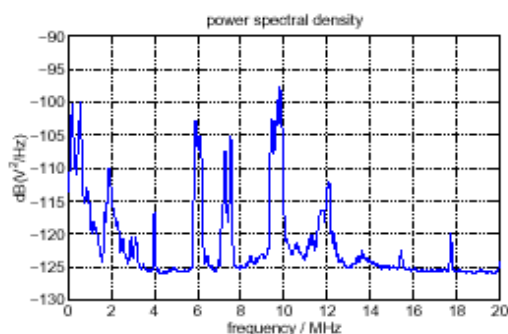


Figura 4.9: Rumore di fondo [46] e Figura 4.10: Rumore impulsivo asincrono [46]

Il rumore impulsivo è la sorgente di disturbo più pericolosa, soprattutto la componente del rumore impulsivo asincrono, a causa delle variazioni brevi e improvvise.

Si hanno impulsi che sono provocati dai transistori di commutazione di un qualsiasi dispositivo, che hanno una durata e un tempo di arrivo diversi e possono portare ad un aumento della PSD del rumore di fondo anche di 60dB, comportando la probabilità di avere un errore sul bit o sul burst trasmesso in quel momento.

La figura sopra a destra mostra un esempio di questo rumore con impulsi di 4 e 100us.

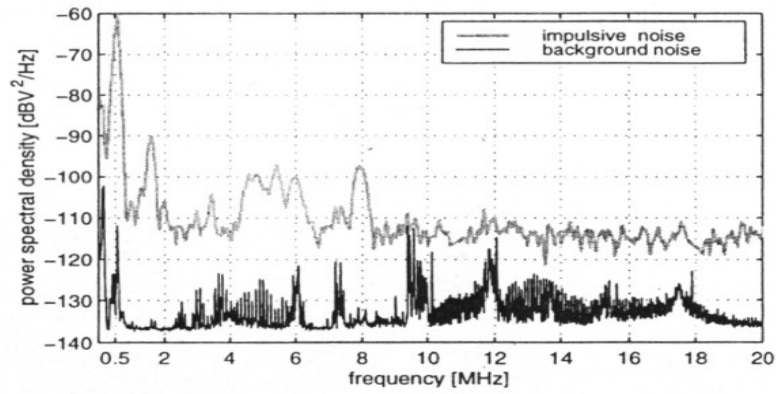


Figura 4.11: Confronto tra la densità spettrale di potenza del rumore impulsivo asincrono con quella del rumore di fondo [47]

Detto ciò è importante determinare un modello statistico valido sulla probabilità di distribuzione dell' ampiezza, della larghezza degli impulsi e del loro tempo di interarrivo.

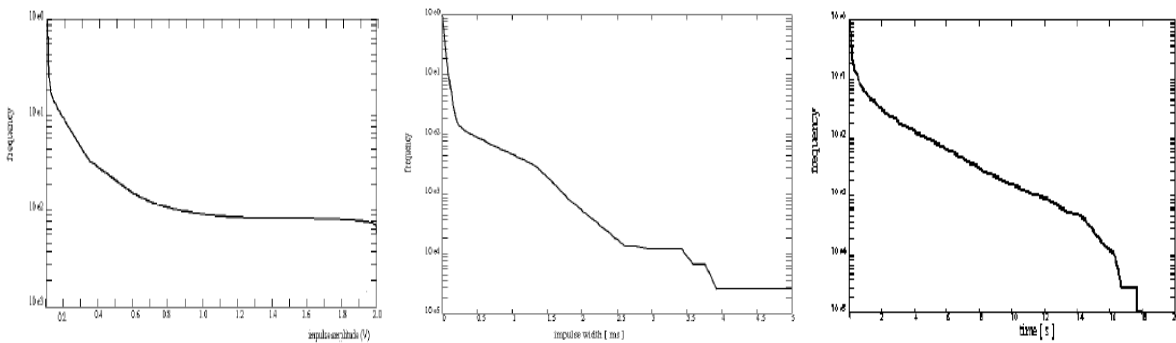


Figura 4.12: Distribuzione misurate dell'ampiezza [33], Figura 4.13: Distribuzione misurata della larghezza [33] e Figura 4.14: Distribuzione misurata del tempo di interarrivo degli impulsi [33]

Le tre figure mostrano le curve di probabilità di distribuzione delle tre variabili ricavate dai risultati di alcune misure: a sinistra si può notare come gli impulsi abbiano una larghezza compresa tra 100 e 200mV e siano distribuiti in modo esponenziale, al centro si può osservare come la larghezza possa essere modellata da una variabile casuale con

distribuzione esponenziale e abbia il suo valore principale a circa 108,46 μ s, mentre a destra si ha il tempo di interarrivo di due impulsi il cui valore si può approssimare a 1,67s. [33] [44] [47]

In conclusione si riportano i risultati di uno studio sulla capacità dei quattro canali di riferimento considerati, utilizzando una banda di circa 20MHz e una potenza di segnale di 1W per limitare la PSD.

È evidente il miglioramento che si ottiene per la capacità rispetto alla situazione che si aveva lavorando nelle bande definite dalla normativa CENELEC 50065-1, infatti prima si avevano bit-rate dell'ordine di Kbit/s, col valore massimo di 1Mb/s in downstream che si raggiungeva nella banda A, ora invece col canale RC1 si possono superare i 300Mb/s, per poi scendere con gli altri canali visto che riguardano collegamenti più lunghi.[48]

**Channel capacity with P=1W and
frequency band 0.5 kHz-20 MHz**

Channel- No	C in Mbit/s	max(Φ_{SS}) in dBV ² /Hz
1	324.39	-72.9
2	149.7	-72.24
3	53.7	-67.32
4	23.34	-65.6

Figura 4.15: Capacità del canale tra 0,5KHz e 20MHz [48]

4.2 Comportamento della rete elettrica interna in bassa tensione

4.2.1 Topologia della rete

La rete elettrica interna è quella localizzata dentro le abitazioni e presenta una varietà ancora più grande rispetto a quella esterna, a causa della struttura degli edifici, della realizzazione degli impianti e del tipo dei cavi, rendendo quindi più difficile una definizione delle sue caratteristiche in merito all'attenuazione e al rumore.

Premesso questo si riportano i risultati di uno studio che ha cercato comunque di darne una caratterizzazione, rilevando con delle misure distribuite sull'arco di 24 ore la funzione di trasferimento e il livello di rumore, oltretutto la dipendenza dal tempo del canale.

Proprio quest'ultimo aspetto della non stazionarietà delle linee elettriche costituisce il problema maggiore nella progettazione dei sistemi di comunicazione, ma si cercherà anche di capire se almeno la funzione di trasferimento sia stazionaria e sia possibile arrivare a definire un valido modello di canale come per la rete esterna.[49]

4.2.2 Propagazione del segnale e attenuazione

Dallo studio condotto, come si può notare nelle due figure sottostanti, sia la risposta in frequenza che quella impulsiva sono caratterizzate da un livello di attenuazione abbastanza alto, con delle cadute piuttosto ripide tipiche dell'interferenza provocata dai cammini multipli.

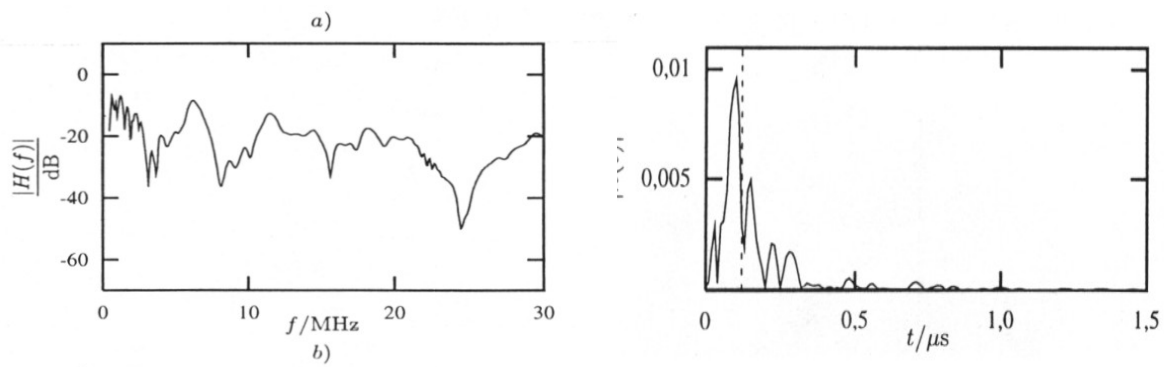


Figura 4.16: Risposta in frequenza e risposta impulsiva della linea elettrica di un ufficio [49]

Per capire come la $H(f)$ varia nel tempo si sono effettuate misure nell'arco di 24 ore con intervalli regolari di 3 minuti ciascuno, poi si è preso in considerazione l'andamento della deviazione standard normalizzata γ dei valori ottenuti, che rappresenta il rapporto tra la deviazione standard e il valor medio.

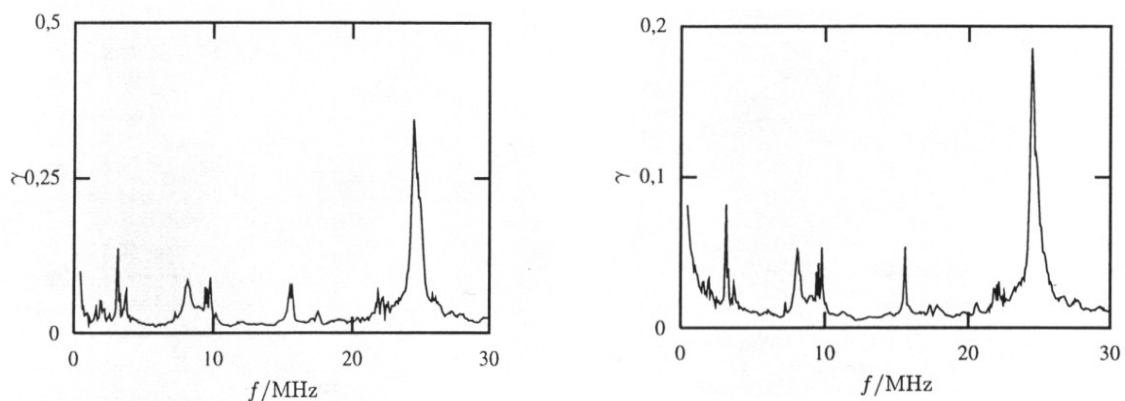


Figura 4.17: Deviazione standard normalizzata dell'ampiezza e della fase di $H(f)$ [49]

Dalle figure si può notare che quando γ si trova su livelli moderati tende ad assumere un andamento all'incirca costante e ad esclusione di alcuni valori di frequenza (ad es. per 25MHz circa) dove l'attenuazione raggiunge picchi elevati, sia l'ampiezza che la fase si possono considerare in modo approssimativo stazionarie nell'arco della giornata. I picchi comunque sembrano più essere dovuti al rumore che a variazioni improvvise dell'attenuazione e questo può aver determinato un comportamento non realistico alle relative frequenze. [49]

4.2.3 Rumore

Anche per la rete interna sono presenti le tipologie di rumore introdotte nella rete esterna, ma qui nel range di frequenze tra 200KHz e 30MHz il rumore di fondo si può considerare come bianco, insieme all'effetto di interferenze a banda stretta causate dalle stazioni radio, a differenza del range fino a 150KHz dove invece era molto maggiore e diminuiva al crescere della frequenza.

Oltre a ciò la distribuzione dei valori misurati intorno al valor medio è Gaussiana per tutte le frequenze.

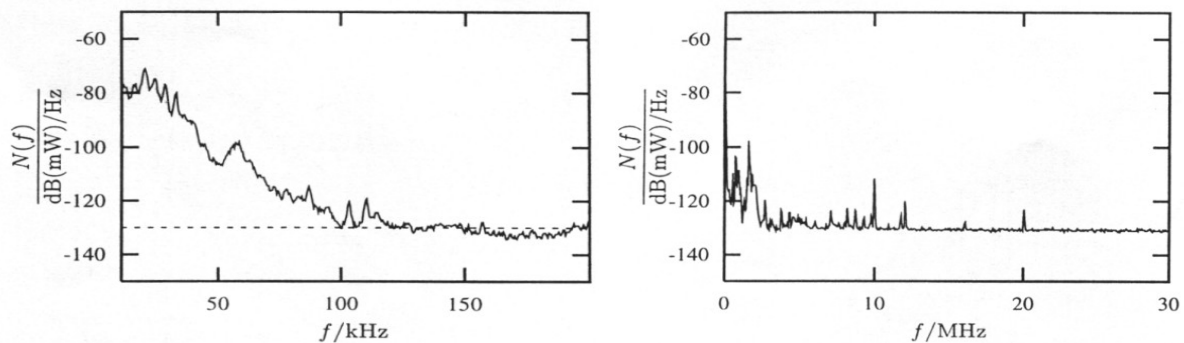


Figura 4.18: Rumore di fondo fino a 200KHz [49] e Figura 4.19: Rumore di fondo fino a 30MHz [49]

Per lo studio della variazione nel tempo si sono seguiti gli stessi criteri della risposta in frequenza e si è trovato che, dall'andamento della deviazione standard normalizzata γ , la PSD del rumore rimane all'incirca costante nel tempo, escluse le frequenze dove l'interferenza a banda stretta assume una posizione di rilievo (ad es. 27MHz).

Questo effetto è causato dalle stazioni radio cittadine, che non trasmettendo in modo continuo determinano un'alta instabilità del rumore, infatti le stazioni che trasmettono sotto i 30MHz utilizzano modulazioni d'ampiezza in cui la potenza della portante viene ridotta in modo arbitrario per risparmiare energia e ci possono anche essere dei momenti in cui l'interferenza sparisce completamente.

In conclusione si può dire che, anche se lo studio si riferisce al periodo di una giornata e quindi non si possono escludere variazioni su periodi più lunghi e con altre reti si potrebbero avere comportamenti diversi, si denota una similitudine della rete interna col canale della telefonia mobile.

Dunque si possono considerare gli schemi di trasmissione e di ricezione già in uso su di esso per eventuali progetti che hanno lo scopo di sfruttare la rete interna come mezzo trasmissivo.[49]

4.3 Altri aspetti

4.3.1 Variazione dell'impedenza

La caratterizzazione dell'impedenza è importante nella realizzazione di sistemi plc, in quanto determina il punto in cui il trasmettitore lavora e nel quale il ricevitore estrae il segnale.

L'impedenza delle reti in bassa tensione dipende fortemente dal punto di misurazione, ciò è dovuto al fatto che la rete di potenza è una rete di distribuzione, col trasformatore MT/BT come forza motrice e diversi carichi connessi in parallelo.

Da questo si deduce che l'impedenza di canale è una grandezza fluttuante, dipendente dai carichi specifici che sono connessi alla rete in un determinato momento e con un andamento crescente all'aumentare della frequenza.

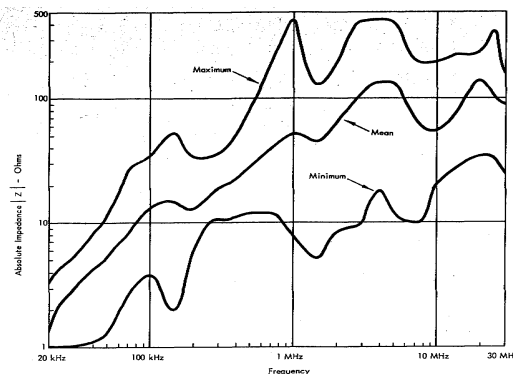


Figura 4.20: Andamento dell'impedenza in funzione della frequenza [20]

Nonostante ciò diversi studi ne hanno comunque determinato un range operativo compreso tra 0 e 80 Ω e l'hanno ottenuta come il risultato di tre contributi: l'impedenza del trasformatore di medio/bassa tensione, l'impedenza caratteristica del cavo usato e l'impedenza dei dispositivi collegati alla rete.

Dallo studio del primo contributo si ha una conferma della dipendenza dalla frequenza, che però tende a diminuire per i trasformatori più grandi.

Senza il trasformatore le varie fasi sono accoppiate, trovandosi in un flusso dei segnali che va da una fase all'altra, ciò significa che in principio si può trasmettere un segnale tra le fasi senza usare circuiti di accoppiamento tra di esse.

Per quanto riguarda l'impedenza caratteristica del cavo è più difficile effettuare una previsione per via della grande varietà di cavi impiegati, ma le capacità dei cavi sono minori di quelle dei trasformatori, quindi i cavi si possono rappresentare come una connessione in serie di resistenze e induttanze, con un valore dell'impedenza che si colloca tra 70 e 100 Ω .

L'impedenza dei dispositivi elettrici utilizzati nelle abitazioni con voltaggi di 220V varia tra gli 800 Ω di una lampadina da 60 W e i 35 Ω di un'aspirapolvere con potenza di 1400W, ma carichi più pesanti connessi tra due fasi possono avere impedenze molto minori come 32 Ω per uno scaldabagno o 12 Ω per un riscaldatore elettrico.

L'impedenza complessiva è il risultato di tutti i carichi della rete connessi in parallelo, quindi le impedenze più basse assumono un ruolo di rilievo in essa.

Una bassa impedenza causa alti valori di attenuazione(100dB/Km) e porta a disallineamenti tra le impedenze del trasmettitore, del ricevitore e del canale, inoltre la sua dipendenza temporale contribuisce all'attenuazione rendendola anch'essa tempo-variante.

Per via dell'alta attenuazione è necessario l'impiego di ripetitori a distanze di meno di 1Km, con un livello di potenza compreso tra 40 e 60W.[20] [50]

4.3.2 Modelli di canale e circuito equivalente plc

Dal momento che i parametri del canale variano con il tempo, la frequenza e il carico, non è semplice determinare un modello di canale accurato; di seguito si riportano in figura i modelli proposti da Dostert e Onuga/Donaldson.

In questo secondo schema la funzione di trasferimento $H(f)$ varia per riflettere i cambiamenti nel carico, $A(t)$ rappresenta il fading spesso periodico, mentre B indica il livello di fading del rumore relativo al segnale.[50]

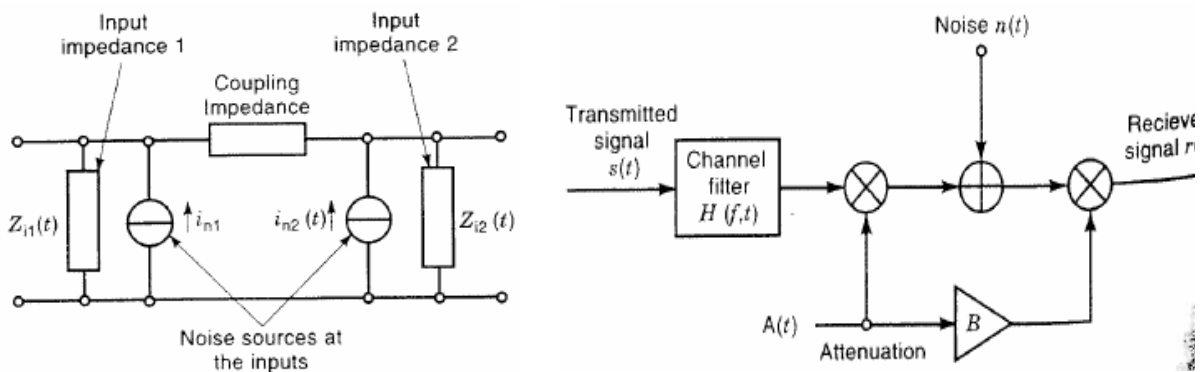


Figura 4.21: Modello di canale di sistemi lineari(Dostert) [50] e Figura 4.22: Modello di canale con rumore(Onuga/Donaldson) [50]

La figura sottostante mostra il circuito equivalente per le powerline proposto da Downey/Sutterlin, dove queste vengono rappresentate come un circuito R-L-C, anche se spesso la capacità non viene considerata essendo trascurabile, riducendo il circuito ad una serie tra una resistenza dipendente dalla frequenza e un'induttanza costante: $Z=R(f)+sL$.

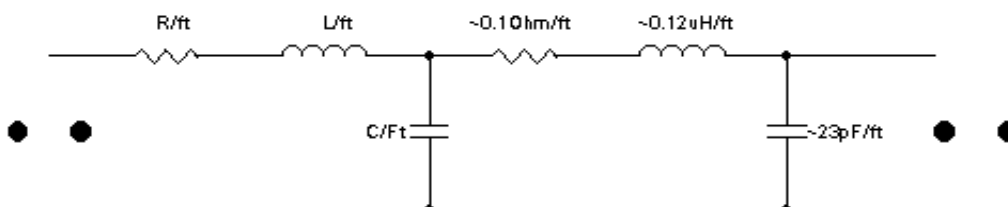


Figura 4.23: Circuito equivalente powerline(Downey/Sutterlin) [20]

La formula dell'impedenza caratteristica è $Z_c = \sqrt{L/C}$, utilizzando cavi 12-2BX con 30 piedi di lunghezza e i seguenti valori: $L=3,6\mu\text{H}$, $C=690\text{pF}$, $R=0,3\Omega$, Z_c risulta pari a 74Ω circa.

Il significato di ciò è che il circuito avrà un comportamento dipendente dall'impedenza di carico in cui termina, ossia sarà induttivo se termina con una bassa impedenza mentre sarà capacitivo se termina con un'alta impedenza.

Si può notare anche che si comporta come un divisore di tensione, sia con i carichi connessi che con l'attenuazione crescente con la frequenza sopra i 100KHz.

La potenza del segnale al ricevitore è massima quando le impedenze di trasmettitore e ricevitore sono accoppiate, per cui è importante studiare i metodi di accoppiamento per ottimizzare il trasferimento dell'informazione.[20]

4.3.3 Metodi di accoppiamento

L'applicazione di un segnale plc su un segnale di potenza implica che la circuiteria di potenza e di accoppiamento debbano essere attentamente designate e interfacciate per avere compatibilità tra i due sistemi che operano in condizioni opposte.

I sistemi di potenza lavorano con basse frequenze e alti valori di tensione, corrente e potenza, mentre i sistemi di comunicazione presentano bassi valori di queste grandezze e operano ad alte frequenze.

Esistono due categorie principali di accoppiamento:

- ✦ Modalità differenziale: il cavo di linea è usato come primo terminale, mentre il neutro come secondo;
- ✦ Modalità comune: il cavo di linea e il neutro vengono combinati a formare un terminale, mentre per il secondo si ricorre al cavo di terra. In teoria non si potrebbe eseguire visto che il neutro e la terra sono connessi al trasformatore, ma in pratica l'induttanza tra i punti di accoppiamento e il punto di corto-circuito permettono di aggirare il problema. Il rendimento è fino a 30dB più alto rispetto a quello della modalità differenziale, anche se in molti paesi per evitare potenziali danni è permesso solo se la corrente di input non supera il limite di 30mA, fissato per la protezione dei dispositivi che si usano in BT.

In una rete di potenza bi-tri fase entrambe le modalità si possono realizzare in parallelo per tutte le fasi allo stesso tempo; quando queste sono disponibili al trasmettitore ciò è meglio che affidarsi all'accoppiamento tra un trasformatore e un dispositivo con più di una fase.

Per l'implementazione fisica ci sono due metodi di accoppiamento: quello capacitivo, in cui l'accoppiamento spetta ad una capacità col segnale modulato su un'onda di tensione e quello induttivo, dove un'induttanza accoppia il segnale ad un'onda di corrente.

L'accoppiamento induttivo perde fino a diversi decibel, ma evita connessioni dirette alla rete che lo rendono più sicuro e più facile da installare, inoltre spesso viene preferito all'accoppiamento capacitivo perché offre performance migliori nelle situazioni di bassa impedenza, una minore irradiazione e una maggiore semplicità d'uso.

Impiega anelli di ferrite che agiscono da trasformatori per l'inserimento del segnale nella rete, con la scelta della ferrite che dipende dalle frequenze di cut-off di questa, dal rapporto di corrente nell'anello e da un diametro inferiore.

Delle capacità vengono utilizzate per ridurre l'impedenza nel punto di accoppiamento, andando ad aumentare l'efficienza e a limitare la propagazione del segnale in direzioni sbagliate.

L'accoppiamento capacitivo invece realizza un'operazione di filtraggio di tipo passa-alto, con una tipologia di elettronica facile e compatta da disegnare.

Entrambi i tipi di accoppiamento presentano dei vantaggi e non se ne ha quindi uno preferenziale, spesso nelle applicazioni pratiche si realizza una combinazione di entrambe le tecniche.[50] [51]

Capitolo 5 Compatibilità elettromagnetica

Alle basse frequenze si possono utilizzare solo dispositivi con bit-rate moderati per scopi quali l'home automation, perciò avendo presupposto la necessità di poter avere dei servizi più interessanti come l'accesso internet a banda larga o i servizi audio/video, che però richiedono capacità di trasmissione più elevate, si pone la necessità di passare a lavorare alle alte frequenze.

In questo settore, che corrisponde all'incirca al range tra 0 e 30MHz però si hanno degli inconvenienti, infatti i cavi elettrici, la maggior parte dei quali non schermati, incomincia ad irradiare, inoltre si può verificare l'interferenza con altri servizi che già operano da tempo su queste frequenze come quello di radiodiffusione.

La normativa CENELEC EN50065-1 assegna le bande di trasmissione soltanto ai dispositivi a bassa frequenza che si trovano nel range compreso tra 9 e 148,5KHz, mentre alle alte frequenze fino ad ora la legislazione è spettata ai singoli paesi.

Questo fatto determina una frammentazione del mercato potenziale, andando ad ostacolare il reperimento di fondi necessari per lo sviluppo dei sistemi plc.

Si pone quindi la necessità di realizzare una standardizzazione a livello internazionale, che preveda la definizione di una normativa che regolamenti l'uso delle plc alle alte frequenze e stabilisca con certezza i limiti delle emissioni elettromagnetiche.

Questi due aspetti sono strettamente collegati tra loro, infatti per poter definire i livelli di radiazione occorre prima aver effettuato l'assegnazione delle frequenze.

In questa parte si comincia a definire i livelli di emissione standard, poi verrà introdotto l'esperimento "Manchester" condotto da NOR.WEB DPL, che è un esperimento significativo condotto alle alte frequenze.

In seguito si vedranno più in dettaglio le caratteristiche dei disturbi e i soggetti con i quali ci possono essere delle interferenze, infine si affronterà la questione della definizione di un'adeguata normativa unica, andando prima a scoprire quelle già presenti in alcuni paesi come l'NB30 tedesca.[1]

5.1 Livelli standard delle emissioni elettromagnetiche

La normativa CENELEC EN50065-1 applicata a livello europeo, che assegna le bande di funzionamento per i dispositivi a basse frequenze sulle linee elettriche, è già stata presentata; in questa parte si riportano i limiti massimi consentiti di potenza utilizzabile e quindi i limiti per le emissioni corrispondenti ad ogni banda di lavoro.

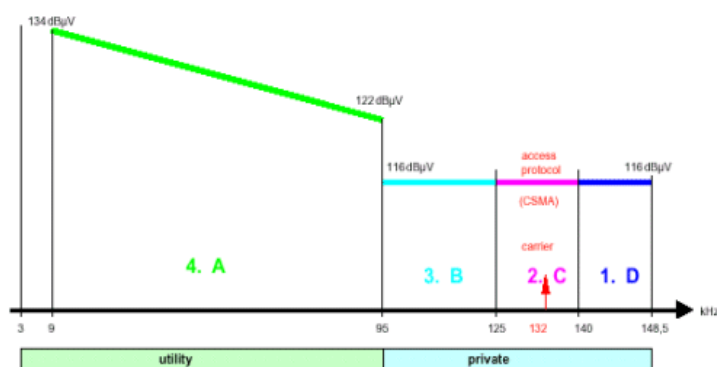


Figura 5.1: Normativa CENELEC EN50065-1: Bande di lavoro e limiti di potenza [33]

Alle alte frequenze non essendo esistita sin dall'inizio una normativa specifica con i relativi limiti, si è preso in considerazione la normativa CISPR22(International Special Commitee on Radio Interference), la quale regolamenta le emissioni irradiate da tutti i dispositivi elettronici delle categorie ITE(Information Technology Equipment) e EDP(Electronic Data Processing), caratterizzati da un segnale di clock maggiore o uguale a 9KHz.

Questa normativa, che è stata introdotta nella legislazione solo di alcuni paesi, a partire dal 1997 suddivide i dispositivi in due categorie in base all'uso: A per l'uso commerciale e B per quello domestico.[33] [52]

CISPR 22 EMISSION LIMITS FOR CLASS 'A' DEVICES

Radiated Emissions (30 meters)		
Frequency (MHz)	uV/m	dB(uV/m)
30 – 230	31.6	0
230 – 1000	70.8	37
Conducted Emissions		
Frequency (MHz)	uV QP (AV)	dB(uV) QP (AV)
0.15 – 0.5	8912.5 (1995)	79 (66)
0.5 – 30	4467 (1000)	(60)

CISPR 22 EMISSION LIMITS FOR CLASS 'B' DEVICES

Radiated Emissions (10 meters)		
Frequency (MHz)	uV/m	dB(uV/m)
30 – 230	31.6	30
230 – 1000	70.8	37
Conducted Emissions		
Frequency (MHz)	uV QP (AV)	dB(uV) QP (AV)
0.15 – 0.5	1995-631 (631-199.5)	66-56 (56-46) (limit varies linearly)
0.5 – 5	631 (199.5)	56 (46)
5 – 30	1000 (316)	60 (50)

NOTE: uV QP (AV) = micro-volts (uV) and QP means quasi Peak and is an average value (AV).

Figura 5.2: Le bande e i limiti di emissione della normativa CISPR22 [52]

5.2 L'esperimento di NOR.WEB DPL a Manchester

L'esperimento condotto dalla società NOR.WEB DPL a Manchester viene proposto in quanto è quello più noto e significativo che sia stato eseguito per realizzare un sistema plc ad alte frequenze.

NOR.WEB DPL è una joint-venture nata nel 1998 dalla fusione di Nortel Networks e United Utilies, con l'intento di sviluppare sistemi di comunicazione ad alta velocità su linee elettriche.

Il sistema principale si chiamava DPL(Digital Power Line), è stato pensato per fornire un servizio di accesso ad internet e di telefonia agli utenti che utilizzano la rete di distribuzione in bassa tensione, ed è il risultato di numerosi test condotti a partire dal 1995.

La banda di lavoro era compresa tra 2 e 6MHz con una copertura fino a 300m di distanza e si poteva raggiungere una velocità di trasmissione di 1Mb/s, che risultava essere superiore di circa 20 volte a quella della connessione con un normale modem dell'epoca.

Il sistema DPL lavorava su due slot di frequenze: 2,2-3,5MHz e 4,2-5,8MHz che venivano scelte per avere una coesistenza con gli altri utenti in HF.

La bassa potenza spettrale impiegata(-40dBm/Hz) garantiva di poter localizzare gli effetti delle interferenze, anche se comunque le frequenze del broadcasting e dei radio amatori venivano evitate, perché gli effetti di campo vicino potevano causare interferenze ai radioricevitori in casa.

Dalle sottostazioni di trasformazione venivano inviati sulle linee elettriche segnali dati ad alta frequenza sopra 1MHz e segnali di potenza in bassa frequenza(50-60Hz).

La rete utilizzata prendeva il nome di HFPCN(High Frequency Conditioned Power Network) in cui per separare le due tipologie di segnale si usavano delle unità CU(Conditioning Unit), che venivano collocate all'interno delle abitazioni.

L'unità CU riceveva in ingresso il segnale dell'energia elettrica e lo distribuiva in uscita a tutte le prese della casa, mentre il segnale dei dati veniva inviato tramite un cavo coassiale ad un'unità SU(Service Unit), alla quale si potevano connettere contemporaneamente vari dispositivi quali telefono, fax e computer, che prendevano il nome di CPE(Customer Premises Equipment).

L'unità CU veniva posta vicino al contatore e utilizzava per la separazione dei segnali dei filtri passa-banda che facilitavano il collegamento tra utenti e sottostazioni.

Le porte erano tre: il segnale unico entrava nella porta NP(Network Port), poi un filtro passa-basso forniva il segnale elettrico che usciva dalla porta EDP(Electricity Distribution Port), mentre il segnale dati si ricavava da un filtro passa-alto che lo poneva in uscita alla porta CDP(Communications Distribution Port).

Il filtro passa-basso aveva anche il compito di attenuare il rumore generato dagli apparecchi elettrici che erano fonte di distorsione, mentre il filtro passa-alto consentiva un traffico dati bidirezionale.

Le stazioni base DPL erano localizzate nelle sottostazioni elettriche e collegavano la rete BT con la rete di telecomunicazioni in fibra ottica o in cavo coassiale: si trattava di sistemi montabili pensati per le cabine cittadine, le quali potevano contenere fino a 12 stazioni base, ciascuna capace di comunicare su 40 canali radio disponibili.

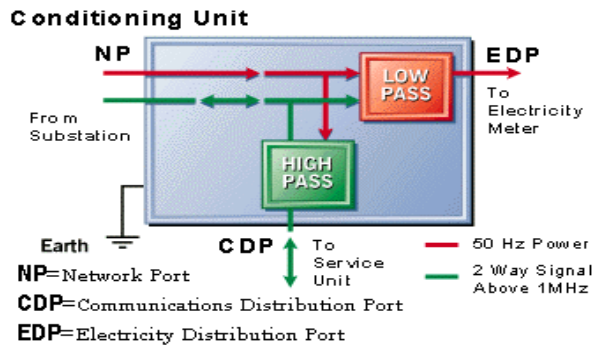


Figura 5.3: Unità di condizionamento del sistema DPL [7]

Queste stazioni servivano all'incirca 50 utenti, fornendo oltre 20MHz di banda agli utenti vicini e tra i 6 e i 10MHz a quelli più lontani, operando via IP per creare una LAN per ogni area di servizio locale.

Il primo test è stato effettuato alla scuola Seymour Park Primary School di Manchester, in cui 12 computer erano connessi ad una singola presa DPL e veniva fornito un accesso ad internet veloce che risultò un successo agli occhi di studenti e insegnanti, visto che non dovevano più attendere tanto per il caricamento delle pagine web, che ora apparivano istantaneamente.

Il successo di questo test ne fece iniziare un altro alla sottostazione di Stanley Road, la quale serviva 15 utenti localizzati nel quartiere di Northumberland a 350m dalla sottostazione e in quello di Seymour distante invece 600m.

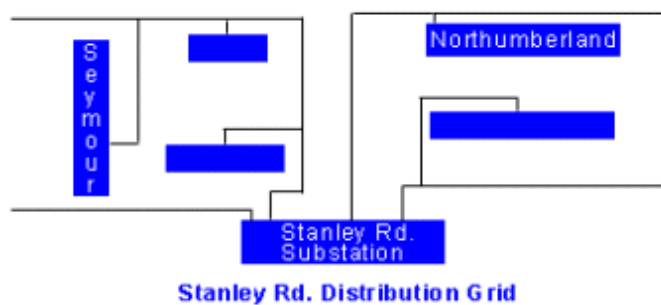


Figura 5.4: Pianta del test eseguito a Stanley Road [7]

Agli utenti veniva fornita una gamma più completa di servizi(internet, telefonia, lettura del contatore), il test durò due anni e per il funzionamento ebbe esito positivo.

Per ciò che riguarda invece la compatibilità elettromagnetica si verificarono delle interferenze con la BBC, alcuni radioamatori e il servizio di emergenza, inoltre i pali dell'illuminazione pubblica si comportavano come antenne irradiando il segnale DPL, che oltre ad interferire con altri servizi era facilmente intercettabile.

Considerato ciò l'Agenzia Amministrativa per le radiocomunicazioni inglese stabilì il limite per le interferenze causate dalle plc a 0dBV/m, che al tempo non era raggiungibile e questo portò alla chiusura di NOR.WEB DPL e alla fine dei test.

L'azienda motivò la chiusura con il fatto di non poter rientrare economicamente negli investimenti sostenuti e anche dal punto di vista tecnico certamente c'erano aspetti che si potevano migliorare come l'introduzione di una modulazione multi-portante(OFDM), di un MAC layer più robusto o di una minor lunghezza dei pacchetti trasmessi, ma la ragione determinante per la conclusione rimane quella legislativa.

Dalla vicenda quindi emerge l'importanza di avere una normativa che da un lato tuteli i servizi già in uso e dall'altro consenta alle nuove tecnologie dei margini di sviluppo.[7]
[53]

5.3 Disturbi causati dai sistemi plc

In questa parte si cercherà di capire meglio quali sono i disturbi causati dalle plc, le fonti specifiche e gli effetti che possono provocare.

Trasmettere i segnali plc ad alta frequenza su linee elettriche costituite da cavi non schermati comporta un discreto livello di irradiazione, infatti il segnale tende ad allontanarsi dal conduttore.

Questo comporta che sia l'impianto elettrico che tutte le strutture metalliche che vi sono collegate come i lampioni dell'illuminazione pubblica, fungano da antenne che irradiano il segnale nelle vicinanze.

Il grado complessivo dei disturbi e la relativa diffusione dipendono da vari fattori: dagli oggetti collegati all'impianto e dal loro numero e composizione, dal numero di utenti collegati e dalla zona in cui ci si trova(ad es. in città il livello di emissioni è maggiore perché si ha una più alta densità abitativa).

5.3.1 Gli effetti della propagazione in campo vicino

Quando si è svolto l'esperimento di Manchester, l'Agenzia Amministrativa per le Radiocomunicazioni del Regno Unito ha incaricato Smith Group Limited di svolgere uno studio sugli effetti delle emissioni irradiate dai sistemi di comunicazione ad alta frequenza su linee elettriche.

Lo scopo era quello di realizzare un modello di previsione delle caratteristiche della radiazione nel range di frequenze tra 30KHz e 3GHz, per definire il livello massimo del campo elettromagnetico in varie zone del sistema e stabilire i limiti di tolleranza delle interferenze per i servizi coinvolti.

Sono stati considerati per le emissioni sia in campo vicino che lontano vari soggetti quali cavi, abitazioni e lampioni, questi ultimi di vari materiali(metallici normali, con collegamento a massa o a terra, plastici) e in diverse configurazioni(nessuno, 1, 2 o 4 lampioni).

Successive misure hanno poi confermato le simulazioni effettuate col modello.

Nella figura sottostante è riportata l'intensità del campo in funzione della frequenza per le varie tipologie di materiali impiegati nei lampioni: si può notare come i lampioni di metallo normale e quelli plastici irradiano la stessa potenza, che invece viene ridotta per i lampioni di metallo collegati a terra o a massa.

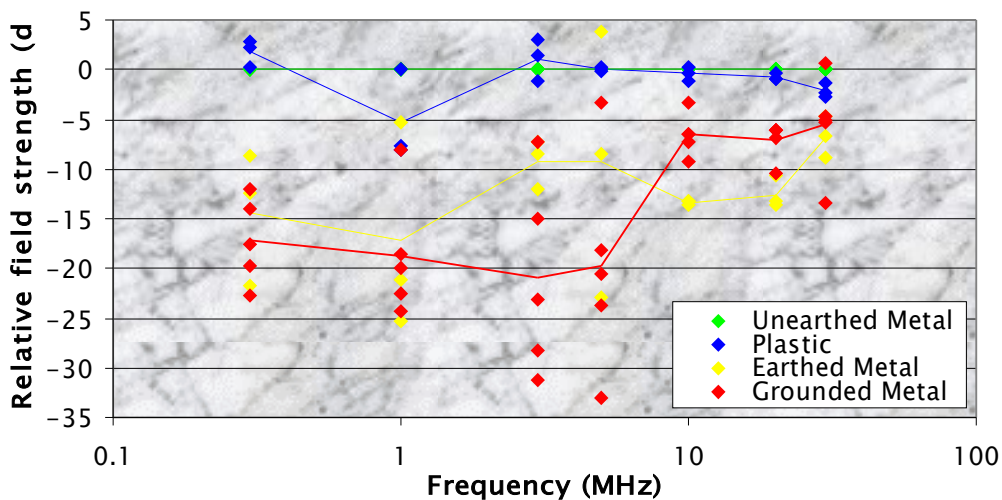


Figura 5.5: Campo irradiato da varie tipologie di lampioni [54]

Per i lampioni con messa a terra si ha una riduzione di 10dB, mentre per quelli collegati a massa si parte dai 20dB per frequenze fino a 5MHz e ci si attesta sui 6dB dai 10MHz in poi, ciò potrebbe dipendere dalla reattanza del filo che collega i lampioni ai picchetti.

Una delle specifiche date era quella di definire i limiti per l'interferenza del campo irradiato tale da non alterare in modo significativo il rumore di fondo già presente sulla linea.

La figura successiva mostra l'andamento in frequenza dell'ampiezza delle varie tipologie di rumore: si è considerata una banda di 10KHz, che è ad un livello intermedio visto che nel range tra 0,5 e 30MHz ci possono essere segnali con bande di 400KHz come quelli dei servizi di trasmissione dati o di 18KHz per la radiodiffusione ad onde medie.

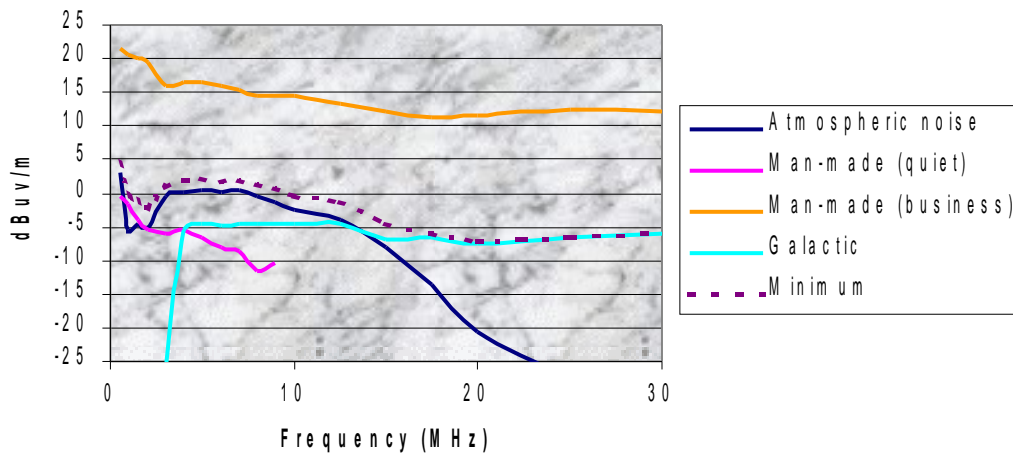


Figura 5.6: Livello d'ampiezza di varie sorgenti di rumore [54]

Il minimo livello di rumore che si può trovare in una zona radio considerata “tranquilla” è compreso tra -5 e 0dBuV/m, ma in un'area urbana ad alta densità abitativa si raggiunge un livello compreso tra 10 e 15dBuV/m.

Dato che il rumore causato dal segnale interferente è incorrelato col rumore di fondo (si avrebbe correlazione se entrambi fossero casuali o pseudo-casuali), la potenza di rumore dei due segnali viene sommata nell'equazione: $P_t = 10 \log \left(10^{\frac{P_1}{10}} + 10^{\frac{P_2}{10}} \right)$

dove P_t è la potenza totale, mentre P_1 e P_2 sono le potenze dei due rumori.

La figura seguente mostra come il segnale interferente provochi un sensibile aumento del livello totale di rumore:

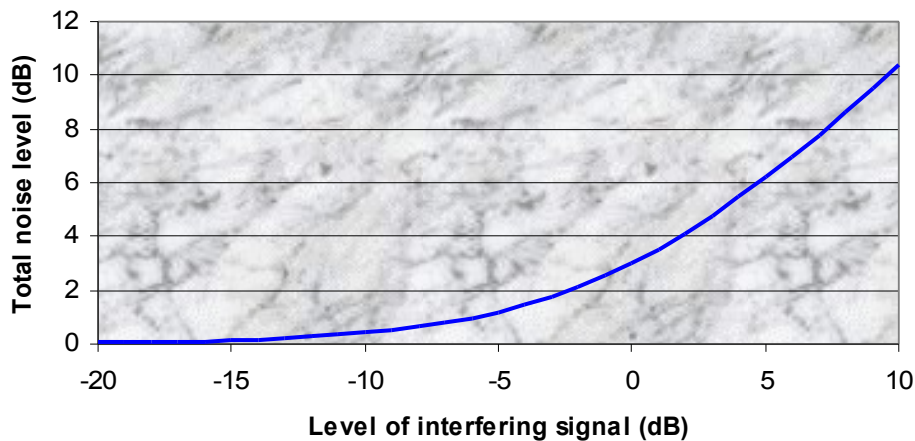


Figura 5.7: Effetto del segnale interferente sul livello totale di rumore [54]

Quando il segnale interferente si mantiene ben al di sotto del livello del rumore di fondo, il rumore totale cresce e raggiunge i 3dB se i due segnali hanno la stessa forza.

Per far sì che il rumore di fondo non venga influenzato in modo significativo occorre che la forza del campo interferente sia di almeno 9dB sotto il suo livello e con ciò l'aumento del livello totale di rumore sarà soltanto di 0,5dB.

Un campo interferente con forza pari a 0dBuV/m può aggiungere 3dB al rumore di fondo in un sistema radio di una zona tranquilla e nulla in un sistema di una zona urbana, in quest'ultimo un valore di 10dBuV/m può aumentare significativamente il rumore totale.

In definitiva per garantire la protezione delle stazioni riceventi in HF impiegate nei sistemi aeronautici, marittimi o nei servizi a collegamento fisso, la forza del campo prodotto dai sistemi interferenti deve essere al massimo di 9dB al di sotto del livello del rumore di fondo o preferibilmente inferiore.

Ciò può essere fatto creando una zona di esclusione intorno a questi sistemi sensibili, dove nessun altro può operare.

In accordo con quanto è stato detto lo studio propone il valore di 5dBuV/m misurato a 10m in una banda di 10KHz, perciò sarà necessario limitare le radiazioni a 10dB sotto le specifiche nelle aree con stazioni HF, mentre alcuna radiazione deve essere consentita alle frequenze utilizzate per i servizi di salvataggio.[54]

5.3.2 Gli effetti della propagazione ionosferica e orizzontale

La propagazione del segnale interferente non avviene soltanto nei pressi della sua sorgente e quindi in condizioni di campo vicino, ma anche a grandi distanze con la propagazione lungo la linea dell'orizzonte e la propagazione ionosferica.

Per quanto riguarda il primo termine si considerano le sottostazioni di trasformazione cittadine che servono un massimo di 200 abitazioni, anche se non tutte trasmettono contemporaneamente, come singole sorgenti di rumore.

Il loro contributo al potenziale rumore e alle interferenze dipende dal tipo di terreno su cui avviene la trasmissione: se il terreno si trova sull'acqua la propagazione non verrà attenuata mentre sul terreno grezzo si dovranno mettere in conto perdite considerevoli.

Con la propagazione ionosferica per avere il massimo contributo all'aumento del rumore di fondo la frequenza di rumore deve trovarsi al di sotto di un angolo critico e di una certa frequenza.

In questo caso però bisogna considerare che le condizioni ionosferiche subiscono dei mutamenti durante il corso della giornata dovuti alle stagioni e al ciclo solare, quindi ad ogni momento si ha una frequenza critica sotto la quale il segnale viene riflesso verso la Terra e fa aumentare il rumore.

Invece nel caso in cui il segnale abbia una frequenza superiore a quella critica l'onda attraversa la ionosfera e si dirige verso lo spazio senza causare alcun effetto.

Comunque risulta importante riuscire a determinare il numero e la densità delle sorgenti di rumore, oltretutto il livello delle emissioni, perché la zona interessata dai disturbi non riguarda soltanto il campo vicino, dove vengono applicate delle aree di interdizione intorno ai sistemi sensibili, ma può raggiungere distanze più elevate con le altre tipologie di propagazione.[52]

Proprio per valutare la propagazione orizzontale e quella ionosferica per poi giungere a definire dei livelli per il campo elettrico interferente anche a grandi distanze, l'Agenzia per le Radiocomunicazioni britannica ha incaricato la società York EMC Services di svolgere una ricerca, proseguendo lo studio che era stato condotto da Smith Group Limited.

È stato fatto un confronto tra i sistemi plc e quelli xDSL(x Digital Subscriber Line), dal momento che entrambi inviano segnali a radiofrequenza su conduttori metallici, infatti i primi utilizzano i cavi elettrici, mentre i secondi quelli telefonici.

Nella prima tabella proposta vengono riportati per le rispettive tecnologie, dove si è assunto di lavorare in una banda di 10KHz, i valori del campo elettrico dovuto alla propagazione lungo l'orizzonte a 1Km e a 10Km dalla città nel caso peggiore, comparati al rumore di fondo.

Technology	Frequency (MHz)	Established ITU noise floor in 10kHz bandwidth, rural location, summer (dBμV/m)	Field in 10kHz bandwidth at 1km from city (dBμV/m)	Field in 10kHz bandwidth at 10km from city (dBμV/m)
PLT	3	8.1	59.2	14.2
ADSL	1	10.76	26.15	1.15
VDSL	6	5.92	28.74	-16.26

Figura 5.8: Campi elettrici generati dalla propagazione orizzontale comparati al rumore di fondo [55]

Per valutare gli effetti della propagazione ionosferica, lo studio ha trovato che un buon metodo di rappresentazione di una grande città è un'antenna isotropica con una sorgente di potenza cumulativa.

Come noto per avere il massimo aumento del rumore di fondo occorre che la frequenza di rumore sia inferiore alla frequenza critica, in questo caso si è effettuata la simulazione al valore di 8MHz come frequenza di rumore(appena inferiore al valore critico) per un sistema VDSL.

La figura, dove viene rappresentata la città di Londra come un'antenna isotropica(con guadagno d'antenna di 27.04dBi), mostra che l'area di copertura è molto maggiore rispetto al caso della propagazione orizzontale ed ogni aumento del rumore di fondo dovuto alla propagazione ionosferica avrà un'influenza a livello europeo, anziché essere localizzato nella regione circostante la città d'interesse.

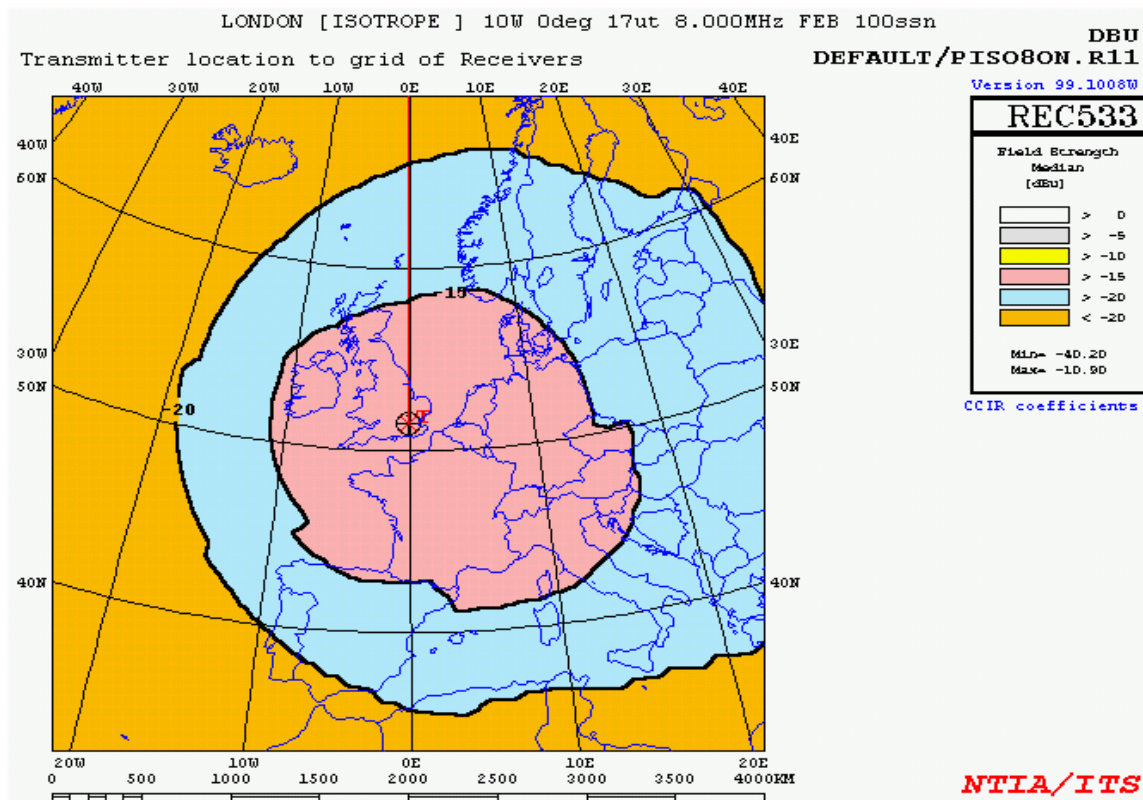


Figura 5.9: Area di copertura del campo elettrico irradiato a 8MHz da un sistema VDSL a Londra [55]

I valori del campo per una singola città sono inferiori rispetto al caso della propagazione orizzontale, ma a causa della maggiore copertura se si sommano i contributi delle maggiori città inglesi e tedesche si raggiunge un valore notevole.

In tabella sono riportati per le tecnologie considerate i contributi al rumore di fondo del campo elettrico dovuto alla propagazione ionosferica: sono state prese in considerazione tutte le città inglesi e quelle del bacino della Ruhr in Germania, sempre in una banda di lavoro di 10KHz.

Come si può notare, anche in questo caso i valori della tecnologia plc sono superiori a quelli della VDSL e tali da poter condizionare il rumore di fondo in modo rilevante.

Technology and assumed penetration (%)	Assumed single source antenna factor (dBi)	Cumulative source	Frequency bands (MHz)	Field in 10kHz bandwidth due to technology deployment (dB μ V/m)	Established ITU noise floor in 10kHz bandwidth, rural location, summer (dB μ V/m)
PLT - 100%	-15	All UK and Ruhr	2.2 to 3.5	7.5	8.1
			4.2 to 5.8	7.5	6.44
VDSL - 25%	-25	All UK and Ruhr	8(worst case skywave frequency)	-6	5.22
HomeLAN mains cable - 5%	-33	Greater London	3.3	-8	8.1
	-28.2		8.2	-13	05.22.00

Figura 5.10: Campi elettrici generati dalla propagazione ionosferica comparati al rumore di fondo [55]

Di seguito invece si riportano le caratteristiche, i valori del campo elettrico irradiato e la potenza totale per ogni città, assumendo come limite per ogni singola sorgente il valore massimo di 20dB μ V/m alla frequenza di 5,1MHz.

Source city/area	Area (km ²)	No. of sub-stations	Total source power (dBm)	Portion radiated (dBm)	dB down on 10W	dB μ V/m over UK	Power (W/m ²) over UK
Ruhr	3507.00	12519.99	40.98	25.98	14.02	5.98	7.9183E-14
London	2500.00	8925	39.51	24.51	15.49	4.51	5.6447E-14
Birmingham	900.00	3213	35.07	20.07	19.93	0.07	2.0321E-14
Manchester	625.00	2231.25	33.49	18.49	21.51	-1.51	1.4112E-14
Glasgow	375.00	1338.75	31.27	16.27	23.73	-3.73	8.467E-15
Liverpool	300.00	1071	30.30	15.30	24.70	-4.70	6.7736E-15
Leeds/ Bradford	275.00	981.75	29.92	14.92	25.08	-5.08	6.2091E-15
Stoke on Trent	218.00	778.26	28.91	13.91	26.09	-6.09	4.9221E-15
Nottingham	187.00	667.59	28.25	13.25	26.75	-6.75	4.2222E-15
Sheffield	180.00	642.6	28.08	13.08	26.92	-6.92	4.0642E-15
Bristol	150.00	535.5	27.29	12.29	27.71	-7.71	3.3868E-15
Edinburgh	120.00	428.4	26.32	11.32	28.68	-8.68	2.7094E-15
Belfast	100.00	357	25.53	10.53	29.47	-9.47	2.2579E-15
Leicester	100.00	357	25.53	10.53	29.47	-9.47	2.2579E-15
Coventry	75.00	267.75	24.28	9.28	30.72	-10.72	1.6934E-15
Cardiff	75.00	267.75	24.28	9.28	30.72	-10.72	1.6934E-15
					Total power (W/m²)		2.1872E-13

Figura 5.11: Caratteristiche, campo elettrico e potenza totale generata da ogni città [55]

Un altro aspetto che viene considerato nello studio è la valutazione dell'ampiezza delle zone di interdizione all'uso dei sistemi plc, che andranno poi collocate intorno ai servizi sensibili alle interferenze.

Alla frequenza di 3MHz vengono proposte le distanze corrispondenti ai valori della forza del campo prodotto principalmente dalla propagazione lungo l'orizzonte.

Exclusion distance (km)	Equivalent field strength (dB μ V/m in 10kHz)
10	14.2
20	8.25
30	3.25
50	-2.4
100	-10.2
200	-25.08.00

Figura 5.12: Distanze per le zone di esclusione dei sistemi plc [55]

In conclusione, dal confronto tra le tecnologie effettuato dallo studio, si trova che i sistemi plc contribuiscono maggiormente all'aumento del rumore totale rispetto a quelli di tipo ADSL o VDSL, in particolare nel caso della propagazione ionosferica i sistemi plc possono portare ad un innalzamento della soglia di 2-3dB, mentre il contributo dei sistemi xDSL risulta trascurabile. [55]

5.3.3 Servizi sensibili alle interferenze dei sistemi plc

Si riportano le tipologie di servizi che possono essere danneggiati dalle interferenze causate dalle plc, in quanto si trovano ad operare nello stesso range di frequenze(0,5-30MHz):

- ⤴ Broadcasting: si può avere la trasmissione ad onde medie MF(tra 0.5265 e 1.6065 MHz) oppure quella ad onde corte HF(tra 3.9 e 26.1MHz), entrambe facenti uso di una modulazione in ampiezza AM e occupanti bande comprese tra 9 e 18KHz.Quando si pianifica l'area di servizio di un trasmettitore MF si usa un campo di 60dBuV/m al confine dell'area di copertura e interferenze significative possono farlo aumentare fino a 72dBuV/m.Con la modulazione AM che è lineare l'SNR del segnale audio riprodotto è proporzionale a quello del segnale in arrivo: dove possibile i trasmettitori auspicano un rapporto di 45dB tra SNR e interferenza, perciò il massimo valore del campo interferente può essere di 15dBuV/m.Per la trasmissione HF il campo dell'area di servizio arriva fino a 45dBuV/m, per cui si accettano rapporti tra SNR e interferenza inferiori come 30dB, il che comporta un massimo campo interferente di 18dBuV/m all'antenna ricevente.In entrambi i casi comunque un valore superiore a 15dBuV/m può aumentare in modo rilevante il livello di rumore, ma ci sono applicazioni come DXing(dove si ascoltano trasmissioni radiodiffuse in zone esterne all'area di copertura degli ascoltatori) in cui il segnale è appena superiore al rumore di 6-10dB e quindi il minimo aumento di quest'ultimo può provocare forti disturbi.
- ⤴ Radioamatori: come per DXing si usano antenne montate sui tetti o in giardino per ricevere segnali di debole intensità, spesso non maggiori di 6dB rispetto al rumore di fondo, su bande ristrette di 2,2-3KHz.Anche lievi aumenti del rumore di fondo possono essere dannosi.
- ⤴ Servizi mobili: molti di questi servizi come quelli marittimi, aeronautici o militari usano la trasmissione HF per coprire lunghe distanze, quando non sono possibili le comunicazioni radio VHF a causa della grande distanza presente tra la stazione mobile e quella di terra.Le stazioni di terra hanno installazioni piuttosto grandi e sono dotate di ricevitori molto sensibili, mentre quelle mobili hanno dimensioni e sensibilità più ridotte.Inoltre le stazioni di terra necessitano di un'elevata protezione, in quanto sono progettate per garantire la comunicazione anche in condizioni difficili con segnali di debole intensità.Un piccolo aumento del rumore di fondo entro i 3dB può essere accettabile, ma considerando l'importanza dei servizi si suggerisce la proibizione dei sistemi plc nei siti dove sono presenti, cioè porti, aeroporti, basi militari, territorio costiero e siti vicini a determinate rotte aeree.

- ⤴ Servizi fissi: sono collegamenti punto-punto HF utilizzati per servizi militari, meteorologici e per la trasmissione dati aeronautica, ma spesso anche da enti governativi o dalla BBC. Dal momento che solo in un numero ristretto di siti di ricezione si può limitare l'incremento del rumore, valgono le stesse considerazioni fatte per i servizi mobili.
- ⤴ Servizi di emergenza: sono localizzati in bande di frequenze molto ristrette che sono collocate tra 0,495 e 0,505MHz e tra 2,1735 e 2,1905MHz per le emergenze marittime, a 3,023MHz per la ricerca e il soccorso notturno e a 5,680MHz per la ricerca e il soccorso diurno. Il livello d'interferenza alle stazioni di terra che forniscono questi servizi deve essere limitato il più possibile e le bande di frequenze non possono essere in alcun modo utilizzate da altri servizi data la loro importanza.
- ⤴ Servizi di ricerca spaziale e radioastronomia.
- ⤴ Servizi di radiolocalizzazione (anche aeronautica). [54] [56]

La figura mostra come viene impiegata la parte dello spettro radio fino a 10MHz: con diversi colori sono rappresentate le varie tipologie di servizi, mentre le aree indicate con le sigle PLT1 e PLT2 e comprese tra 2,2 e 3,5MHz e tra 4,2 e 5,8MHz sono quelle che venivano utilizzate dal sistema di NOR.WEB DPL. [33]

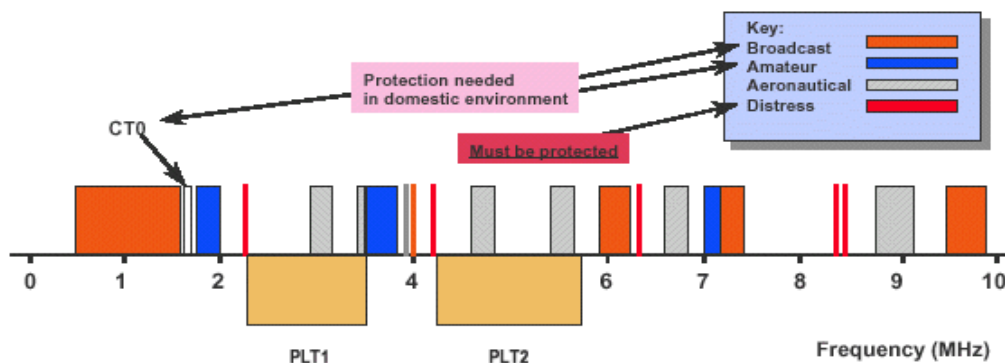


Figura 5.13: Utilizzo dello spettro radio tra 0 e 10MHz per uso civile [33]

5.3.4 Metodi per ridurre le emissioni

Per la riduzione delle emissioni di radiazioni si possono considerare le seguenti metodologie:

- ⤴ Riduzione della frequenza di polling di fondo (fattore di attività di traffico): questa tecnica limita i periodi di trasmissione in linea con i requisiti di trasmissione dati in tempo reale degli utenti, riducendo perciò la potenza media trasmessa. L'attività di traffico può essere ridotta fino ad un rapporto di 50:1, anche se in corrispondenza del traffico di picco è possibile solo una riduzione limitata.

Il grafico mostra la densità spettrale di potenza misurata a 3m di distanza dai sistemi plc in condizioni di alta e bassa attività di traffico, per quest'ultima si può notare la riduzione di potenza in particolare a 3MHz, mentre per i picchi, come previsto, la situazione è all'incirca simile alla condizione di alto traffico.

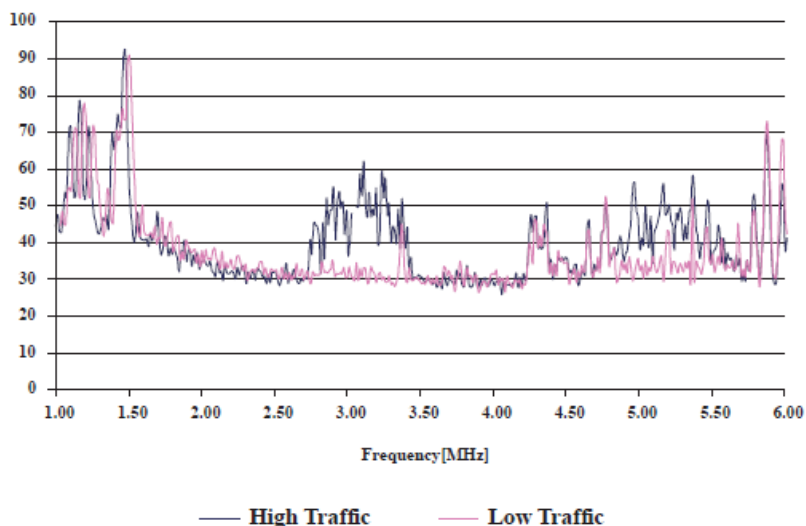
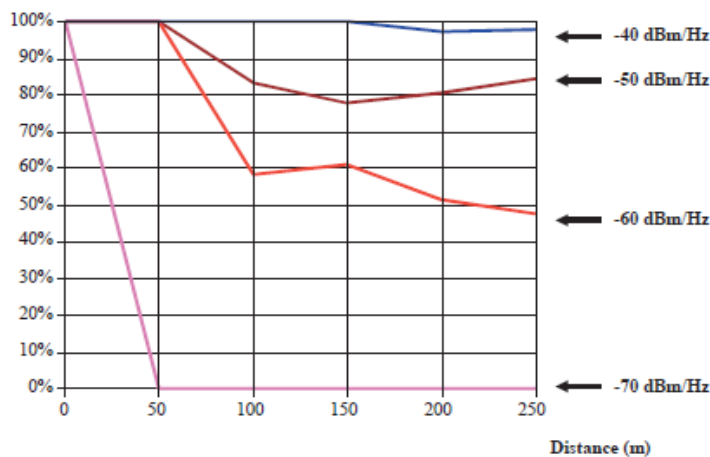


Figura 5.14: Densità spettrale di potenza in condizioni di alto e basso livello di traffico [53]

- ⤴ Filtri: si possono impiegare filtri per isolare le parti dei sistemi powerline caratterizzati da un'alta efficienza di radiazione, in sezioni particolari come il cablaggio all'interno di locali e nella fornitura stradale. Questa tecnica è valida nell'applicazione dei punti più delicati, ma bisogna comunque considerare che la sua efficacia è variabile, in quanto è difficile filtrare componenti di modo comune e che i filtri hanno un alto costo d'installazione, quindi in un largo impiego il sistema non è più economico. Una soluzione simile potrebbe essere l'impiego delle CU descritte nell'esperimento di Manchester, dove all'interno era presente un filtro passa-basso che aveva la funzione di attenuare il rumore generato dagli apparecchi elettrici.
- ⤴ Riduzione della potenza: riducendo la densità spettrale di potenza trasmessa si riducono le radiazioni, ma si riduce la distanza coperta dal segnale e con la diminuzione del rapporto segnale-rumore gli effetti dell'attenuazione e del rumore sulla linea diventano più consistenti. Si capisce dunque che la riduzione può avvenire in modo limitato, compatibilmente alle proprietà variabili di trasmissione dei cavi, così per ottenere una buona percentuale di copertura si può far riferimento al grafico seguente che mostra diverse possibili soluzioni:



Note : Power spectral density of -40 dBm/Hz required for economically viable system (50mW total)

Figura 5.15: % Copertura del segnale in rapporto alla distanza e alla riduzione di potenza per un sistema DPL in banda 1 [53]

Per estendere la copertura del segnale, diminuita dalla riduzione della potenza, si possono usare dei ripetitori, i quali non occupano una parte supplementare di spettro, ma bisogna considerare che i costi aumentano e il numero dei ripetitori necessari per far fronte alle cadute di segnale aumenta in modo esponenziale, quindi anche in questo caso per un utilizzo in larga scala questa soluzione diventa anti-economica.

- ⤴ Controllo di potenza: in questo caso si cerca di ridurre il livello medio piuttosto che il livello dei picchi della radiazione prodotta dai sistemi powerline, che porterà ad una riduzione degli effetti cumulativi in campo lontano. Si varia il livello di potenza in base alla posizione degli utenti, così quelli a quelli più vicini si trasmette su livelli più bassi e a quelli più distanti su livelli più alti.
- ⤴ Zone di esclusione: si tratta di aree interdette ai sistemi plc, da collocare nelle vicinanze dei sistemi di trasmissione sensibili alle radiazioni.[53] [55]

5.4 Definizione di normative adeguate

In assenza di una normativa unica a livello internazionale, per la regolamentazione dell'uso dei sistemi plc ad alta frequenza ogni stato è stato libero di applicare le proprie norme.

Di seguito vengono proposte quelle più significative che sono state elaborate da alcuni dei maggiori paesi.

5.4.1 La FCC Part 15 negli Stati Uniti

Negli Usa l'organismo responsabile per la regolamentazione plc è l'FCC(Federal Communications Commission).

La parte 15 definisce l'insieme di regole sotto le quali radiazioni incidentali o intenzionali possono essere emesse senza una specifica licenza, inoltre contiene le specifiche tecniche, amministrative e tutte le condizioni di mercato per i dispositivi che ne fanno parte.

I dispositivi plc sono intesi aventi una portante in corrente e devono rispettare le clausole seguenti:

- ▲ 15.107(c)(2)Limiti di conduzione: i dispositivi non devono produrre emissioni rilevanti tra 535KHz e 1.705MHz, cioè la banda di trasmissione AM.In questo range di frequenze il valore massimo è fissato a 1000uV, ma fuori non ci sono limiti.
- ▲ 15.119(a)Limiti emissione di radiazioni: questa clausola definisce il massimo livello consentito di emissioni tra 30 e 1000MHz o la quinta armonica della più alta frequenza generata senza dispositivo fino a 40GHz.
- ▲ 15.119(e) e 15.209(a)Limiti emissione di radiazioni e requisiti generici: i dispositivi che operano come emettitori non intenzionali tra 9KHz e 30MHz devono ottemperare ai limiti della parte 15.209 del regolamento.Il limite stabilito per il range 1,705-30MHz stabilisce la massima potenza operativa per i sistemi plc in NordAmerica.

Table 4: FCC conducted limits		
Frequency of emission [MHz]	Quasi-peak limits [μ V]	Band [kHz]
0.535 -1.705	1000	9

Table 5: FCC radiated emission limits		
Frequency [MHz]	Quasi-peak limits [μ V/m]	Measurement distance [m]
0.009 – 0.490	2400/f(kHz)	300
0.490 – 1.705	24000/f(kHz)	30
1.705 – 30.0	30	30
30 – 88	100	3
88 – 216	150	3
216 - 960	200	3
Above 960	500	3

Figura 5.16: Limiti dei disturbi di conduzione e di radiazione della FCC Part 15 [74]

I dispositivi si possono classificare nella categoria A che riguarda l'impiego in ambito commerciale e industriale e B che si riferisce alle aree residenziali, inoltre in base a ciò si possono definire i limiti di emissione di radiazione oltre i 30MHz e quelli di conduzione quando i dispositivi non sono attivi.

La FCC è decisa all'apertura del mercato per i dispositivi orientati alla comunicazione, perciò ha realizzato un programma di deregulation che assisterà i produttori di dispositivi che possono portare la banda larga verso e dentro le abitazioni.

Un esempio è l'apertura dello spettro 2,4GHz ai produttori HomeRF, i quali prima erano ristretti ad usare lo spettro 900MHz con bit-rate a 2Mb/s, mentre ora possono raggiungere gli 11Mb/s e possono competere con i prodotti basati sull'802.11 Wireless LAN.

In definitiva il mercato Usa presenta due vantaggi rispetto a quello europeo, che sono l'omogeneizzazione del regime di regolamentazione sotto l'FCC e il permesso di avere un ampio fattore di potenza consentito dalla Parte 15.[57]

5.4.2 L'NB30 in Germania

La Germania è uno dei paesi più all'avanguardia nello sviluppo del settore plc, così per colmare il vuoto normativo nella parte riguardante le alte frequenze, ha introdotto una nuova legge che ha preso il nome di NB30.

L'Autorità per la Regolamentazione delle Poste e Telecomunicazioni(Reg TP), è un'autorità federale senza scopo di lucro, che ha sede a Bonn e fa parte del Ministero dell'Economia e della Tecnologia(BMWi).

L'attività di Reg TP è orientata a promuovere lo sviluppo dei mercati delle poste e delle telecomunicazioni attraverso la liberalizzazione e la deregulation, perciò nel 1998 comincia i lavori per una revisione della legge delle Telecomunicazioni che consentirà ampi margini di sviluppo alle plc.

Il risultato dei lavori è la legge NB30(Nutzungsbestimmung 30 zur Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung), che entra in vigore nel 2003 per dare modo agli addetti ai lavori di prenderne conoscenza e adeguarsi, la quale stabilisce i limiti di forza del campo elettrico interferente nel range compreso tra 9KHz e 3GHz.

Nella tabella che viene riportata sono indicati i limiti corrispondenti alle sottobande, con una distanza di misura di 3m, mentre il grafico mostra che il limite massimo consentito per il campo elettrico è decrescente con l'aumentare della frequenza.

Frequency Range MHz	Limit of (Peak) disturbance field strength dB (µV/m)	Measurement Distance	Measurement Bandwidth
0.009 - 1	$40-20 \cdot \log(f/\text{MHz})$	3 m	?
1 - 30	$40-8.8 \cdot \log(f/\text{MHz})$	3 m	9 kHz
30 - 1000	27^1	3 m	120 kHz
1000 - 3000	40^2	3 m	1 MHz

Limits according to Official Communication No.1/1999, Official Journal BMWI

CISPR measuring bandwidth change at 150 kHz?

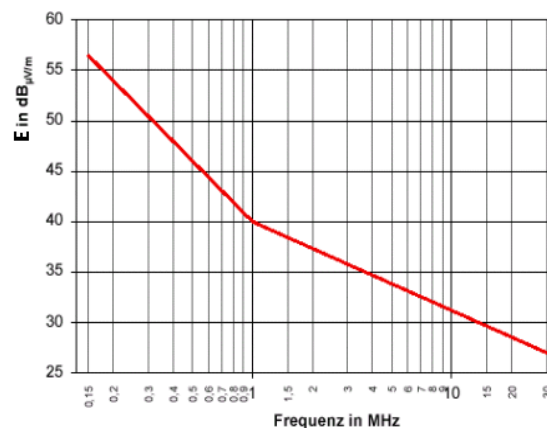


Figura 5.17: Normativa NB30: limiti di forza del campo interferente [52] [73]

L'utilizzo dei sistemi plc è previsto nelle seguenti bande:

- ▲ 9-525KHz: per i servizi di telemetria a banda stretta;
- ▲ 1,6-10MHz: per i sistemi plc a banda larga esterni;
- ▲ 10-30MHz: per i sistemi plc a banda larga all'interno delle abitazioni.

All'interno di queste tre bande principali sono poi definite le seguenti sottobande: 9-95KHz; 9-148,5KHz; 100-148,5KHz; 148,5-525KHz; 526KHz-1,6MHz; 1,6-10MHz; 1,9-25MHz; 10-30MHz.

Le modulazioni impiegate sono l'OFDM con TDD, SS-FFH, QAM, FM, GMSK, DSSS su linee non schermate all'interno della casa e su cavi interrati non schermati e non bilanciati all'esterno.

Il livello di radiazione a pieno regime è previsto tra 15 e 80dBuV/m in base alla distanza e alla frequenza, mentre le tecniche per minimizzare le radiazioni interferenti di cofrequenza esercitate dai sistemi plc sui ricevitori radio in spazio libero, riguardano l'esclusione dalle bande sensibili e la riduzione della potenza trasmessa.

In conclusione si può affermare che per la Germania l'approvazione di questa legge sia un importante traguardo raggiunto, nonostante l'opposizione dei radioamatori internazionali che, anche negli anni seguenti l'approvazione, hanno continuato a dubitare sul fatto che il problema delle interferenze con le loro attività fosse effettivamente risolto.[52] [57] [58]

5.4.3 L'MPT 1570 in Gran Bretagna

La Radio Communications Agency è un'agenzia esecutiva del Dipartimento degli Affari e dell'Industria inglese, la quale è responsabile della gestione dello spettro radio per usi civili, che comporta la rappresentanza internazionale, la ricerca, l'allocazione dello spettro e la concessione delle licenze d'uso, oltreché la pulizia di esso.

In particolare quest'ultima attività risulta molto importante per i servizi fondamentali come quelli d'emergenza.

L'Agenzia ha stabilito con la norma MPT 1570 dell'aprile 2000 i livelli massimi consentiti di radiazione elettromagnetica per i sistemi di telecomunicazioni che operano nel range di frequenze tra 9KHz e 30MHz.

La seguente tabella mostra i limiti corrispondenti per le sottobande: la distanza di misura è di 1m per le prime due, di 3m per il range 1,6-30MHz, invece i limiti per la parte compresa tra 30 e 300MHz non sono ancora stati definiti.[52] [57]

Frequency Range MHz	Magnetic Field Limit (equivalent electric field) dB μ V/m (Peak)	Measurement Distance	Measurement Bandwidth
0.09 -0.15	73.5 -20 log f (kHz) Note1	1 metre	200 Hz
0.150 -1.6	40 - 7.7 log f (MHz) Note1	1 metre	9 kHz
1.6 to 30 MHz	20 - 7.7 log f (MHz) Note2	3 metres	9 kHz
30 MHz to 300MHz	LIMITS AND MEASUREMENT METHODS ARE CURRENTLY UNDER CONSIDERATION		
Note 1: Limits from MPT 1570: April 2000(for public consultation withinUK)			
Note 2: Limits from MPT 1570: December 1999(still under consideration)			

Figura 5.18: Normativa MPT 1570: Limiti di forza del campo interferente [52]

5.4.4 Il “chimney approach”

Si è visto come alcune normative presentate, con il progressivo passaggio alle alte frequenze, abbiano fissato dei limiti abbastanza bassi per l'uso dello spettro, risultando penalizzanti per i sistemi plc.

Quando sono richiesti livelli di emissioni più alti è necessario considerare le frequenze interessate e stabilire il modo appropriato per garantire livelli di emissioni accettabili, così in questo modo si possono evitare le interferenze con i sistemi radio e allo stesso tempo garantire lo sviluppo delle plc.

Una proposta interessante e alternativa è quella del “chimney approach” o delle ciminiere, che è stata già presentata da NOR.WEB DPL al governo britannico, quando era stato messo a punto il sistema Digital Power Line.

Con questo approccio, che qui viene applicato alla normativa NB30 tedesca, viene consentito al campo interferente di oltrepassare i limiti prefissati nelle bande interessate, andando a costituire delle eccezioni che prendono il nome di ciminiere, ma senza alterare il livello complessivo di rumore.

Nel caso DPL si può notare la presenza delle due ciminiere nelle bande comprese tra 2,2 e 3,5MHz e tra 4,2 e 5,8MHz, dove il campo raggiunge i 50dBuV/m calcolati a 10m di distanza, mentre il limite previsto non oltrepassava i 27dBuV/m.

L'altezza, la larghezza e il posizionamento delle ciminiere dipende sia dalle frequenze considerate che dal collocamento geografico dei sistemi.[53]

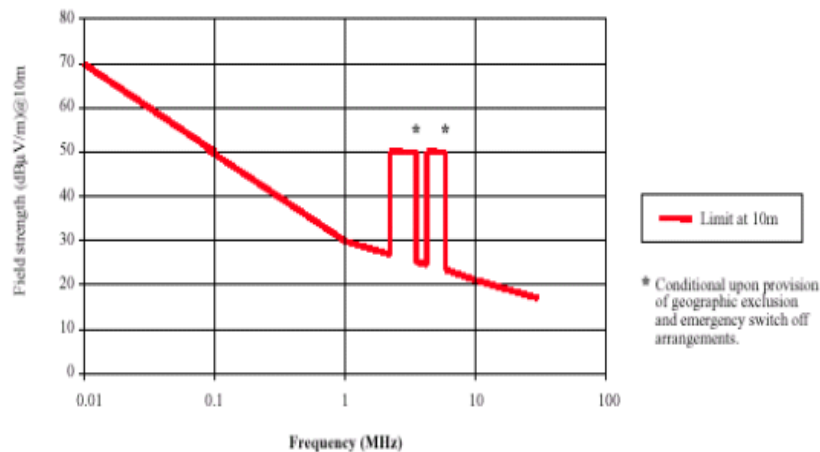


Figura 5.19: Il chimney approach del sistema di NOR.WEB DPL [53]

Successivamente il chimney approach è stato preso in considerazione nel lavoro che ETSI(European Telecommunications Standards Institute) e CENELEC hanno iniziato a svolgere congiuntamente per arrivare a definire una normativa unica a livello europeo, che regolamenti l'uso delle plc ad alte frequenze.

Il gruppo di lavoro denominato ETSI PLT-CENELEC S/C205A WG10 aveva previsto la suddivisione dello spettro sostanzialmente in due parti:

- ▲ 2-10MHz: per i sistemi che si occupano della copertura dell'ultimo miglio;
- ▲ 10-30MHz: per i sistemi che lavorano all'interno delle abitazioni.

Nel grafico si ha una rappresentazione della normativa: sono state considerate diverse bande di frequenze, ognuna corrispondente ad una ciminiera, la quale raggiunge valori del campo compresi tra 40 e 50dBmV/m.[4] [52]

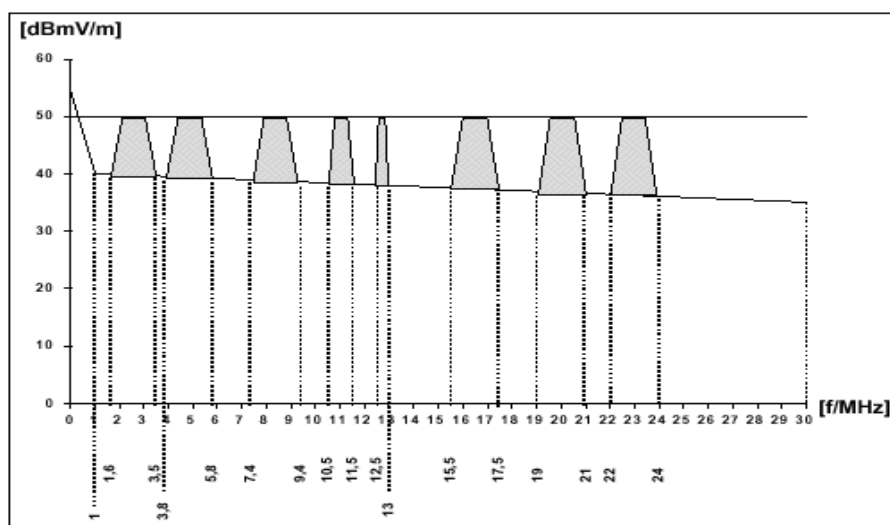


Figura 5.20: Normativa del gruppo ETSI PLT-CENELEC S/C205A WG10 [4]

5.4.5 Definizione di una normativa unica a livello europeo

Il tema della compatibilità elettromagnetica è molto importante non solo dal punto di vista dei disturbi ma anche per la compatibilità dei prodotti.

La definizione di una normativa unica a livello internazionale consentirebbe una maggiore semplicità e chiarezza dal punto di vista normativo, evitando di affidare la regolamentazione alle legislazioni dei singoli paesi, ma anche la convivenza dei prodotti dal punto di vista operativo, evitando conflitti e sovrapposizioni in frequenza.

Ad esempio le apparecchiature impiegate all'interno dell'abitazione potrebbero trovarsi ad operare sulle stesse frequenze utilizzate dalle apparecchiature esterne, andando quindi a sovrapporsi, perché sono state realizzate da gruppi industriali che rispettano normative differenti.

L'obiettivo da raggiungere però non è così semplice perché nel processo di regolamentazione sono coinvolte svariate organizzazioni e per via delle procedure burocratiche: lo schema seguente permette di rendersi conto della complessità della situazione.

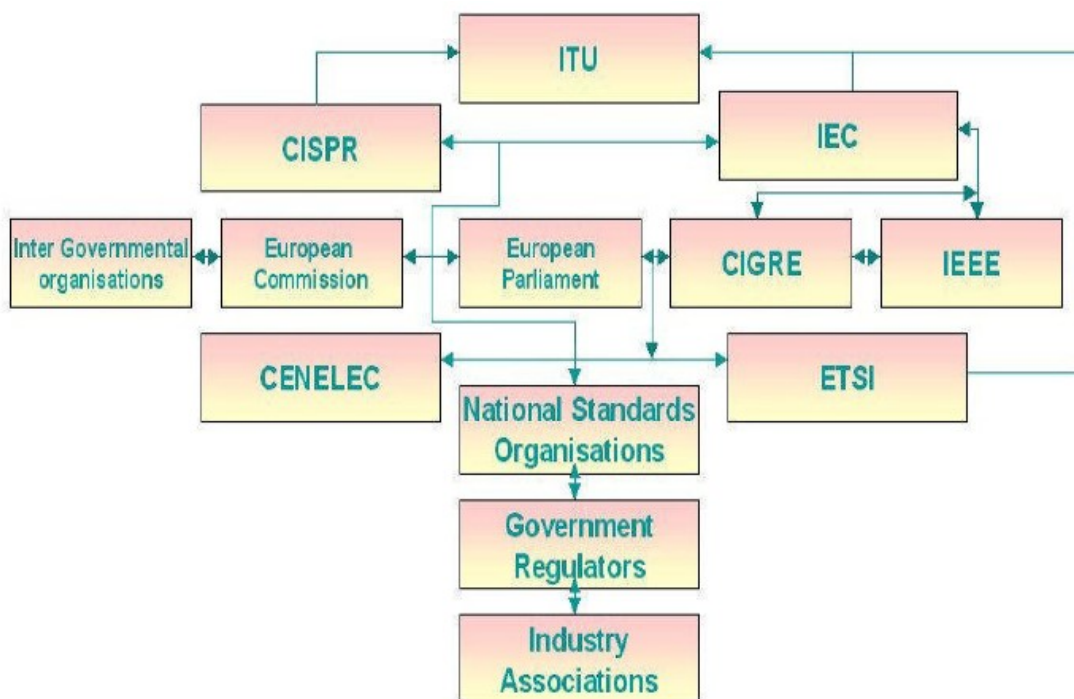


Figura 5.21: Organizzazioni coinvolte nel processo di regolamentazione [52]

Come si può vedere si ha la presenza di organizzazioni europee e internazionali: sia strutture governative come il Parlamento Europeo e la Commissione Europea, che di comitati tecnici che si occupano della standardizzazione in specifici settori come il CENELEC, il CEN(European Committee for Standardization) e l'ETSI(European Telecommunications Standard Institute).

Alcune organizzazioni sono semplicemente in contatto come l'ITU(International Telecommunications Union) e l'ETSI, mentre altre hanno instaurato delle collaborazioni come il CEN e l'ISO(International Organization for Standardization), che hanno firmato l'accordo di Vienna su una cooperazione tecnica o come il CENELEC e l'IEC(International Electrotechnical Commission), che anche se operanti a due livelli differenti, la loro azione ha un impatto comune nell'ambito elettrotecnico e quindi hanno siglato l'accordo di Dresda.

Questo accordo in particolare ha lo scopo di arrivare alla definizione e all'adozione comune di standard internazionali, di assicurare un uso razionale delle risorse e di accelerare il processo di produzione degli standard in risposta delle richieste di mercato. [52]

Nell'ambito d'interesse, che è lo sviluppo di standard dei sistemi plc, i due soggetti di maggior rilievo nello scenario europeo sono il CENELEC e l'ETSI, che hanno iniziato a lavorare congiuntamente seguendo le direttive dell'Unione Europea.

Anche in questo caso, come si può osservare nello schema, la situazione è un po' complessa per via della presenza di numerosi comitati interagenti tra loro e della divisione di responsabilità.

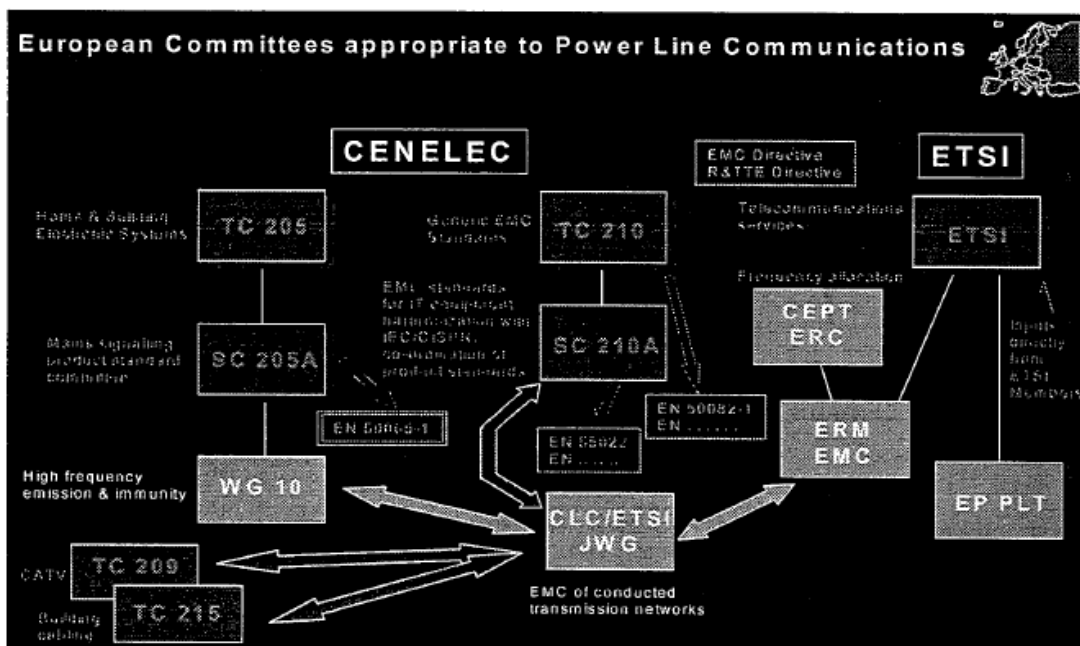


Figura 5.22: CENELEC ed ETSI: Comitati e relazioni [57]

Dalla collaborazione tra i due enti è stato creato il gruppo congiunto ETSI PLT-CENELEC S/C205A WG10, che aveva il compito di affrontare la compatibilità elettromagnetica alle alte frequenze: il range era compreso tra 2 e 30MHz e si era considerato l'approccio delle ciminiere.[57]

Per quanto riguarda le normative, fino al 2011 si è considerata la EN55022(1998), che è l'equivalente europeo della CISPR22, ma non imponeva dei limiti vincolanti per le plc, poi è stata applicata una deroga e così dall'ottobre 2011 i sistemi plc all'interno dell'abitazione sono coperti dalla EN55022(2006)(Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement).

Nel frattempo la Commissione Europea ha chiesto al CENELEC di elaborare uno standard specifico per la definizione dei limiti di emissione dei sistemi plc, che non sarà un emendamento all'EN50022 ma uno standard proprio e non sarà di poco interesse per i gestori dello spettro, considerando che ora i sistemi plc operano a 30-40dB sopra i limiti.

Così nel maggio 2010, a seguito della rinuncia alla standardizzazione plc da parte della CISPR, il CENELEC TC210 costituisce il gruppo di lavoro WG11, aperto anche ai membri dell'ETSI, per occuparsi della compatibilità elettromagnetica.

Il risultato di questa attività è la norma prEN50561-1(Powerline communication apparatus used in low voltage installations - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement - Part 1: Apparatus for in-home use), da applicare agli apparecchi che trasmettono nella banda 1,6-30MHz all'interno dell'abitazione.

La discussione e la votazione di questa norma al CENELEC è avvenuta nel settembre 2011, ma il risultato è stato un voto negativo, perché anche se i voti favorevoli erano superiori ai contrari non si è raggiunta la soglia del 71% dei voti pesati che è necessaria per l'approvazione.

Durante il meeting il gruppo TC210/WG11 ha preso in considerazione le annotazioni e le richieste fatte per apportare delle modifiche alla norma, in vista di una seconda votazione che avverrà in seguito, però se anche in questo caso si dovesse avere un esito negativo l'unica norma applicabile resterebbe la EN55022(2006).

Considerando che buona parte dei sistemi plc non soddisfaceva né i limiti della EN55022 né i requisiti della prEN50561-1 e non c'era un periodo di transizione per un nuovo standard, era opportuno che gli stati membri si accordassero al livello EMC WG e EMC ADCO, perché nel caso in cui la norma avesse passato il voto sarebbe stato necessario all'industria un periodo di circa 3 anni per adeguarsi alle disposizioni.

L'incontro tra EMC WG e EMC ADCO è avvenuto nel dicembre 2011, poi il gruppo TC210/WG11 ha iniziato la procedura di revisione nel gennaio 2012 con una durata prevista fissata a due mesi circa.[59] [60]

La versione definitiva è stata completata in febbraio e contiene i limiti, i requisiti e i metodi di misura che si propongono di seguito:

Frequency range MHz	Limits dB(μ V)	
	Quasi-peak	Average
0,15 to 0,50	66 to 56	56 to 46
0,50 to 5	56	46
5 to 30	60	50
NOTE 1	The lower limit applies at the transition frequencies.	
NOTE 2	The limit decreases linearly with the logarithm of the frequency in the range 0,15 MHz to 0,50 MHz.	

Figura 5.23: prEN50561-1: Limiti per i disturbi di conduzione fino a 30MHz [61]

Symmetrical mode insertion loss EUT to AE (dB)	10	20	≥ 40
Maximum transmitted signal in dB(μ V) (AV)	65	75	95
Maximum transmitted signal in dB(μ V) (PK)	75	85	105
NOTE The transmit power management function of an AE should function in the same way as the EUT otherwise the signal of the AE may dominate and cause erroneous results during measurement.			

Figura 5.24: prEN50561-1: Livello massimo del segnale di trasmissione tra 1,6 e 30MHz [61]

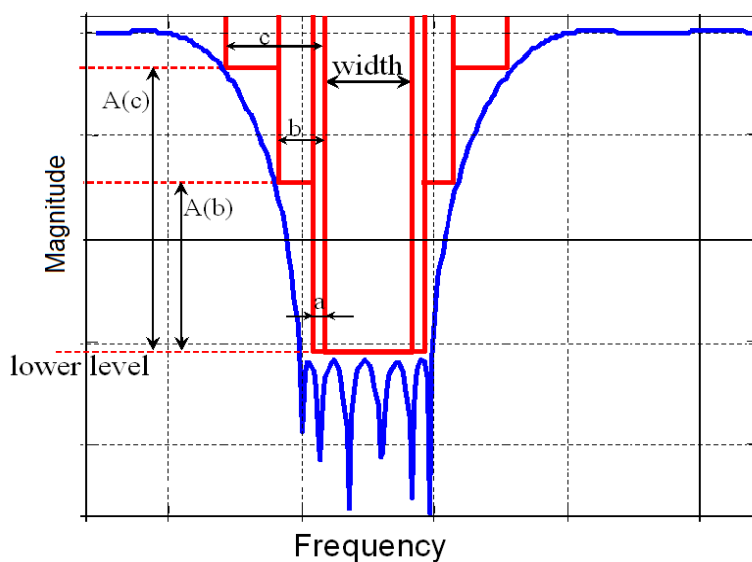
EUT: Equipment under test, AE: Associated Equipment

Esistono alcune tipologie di servizi come quello mobile aeronautico o quello dei radioamatori le cui bande di utilizzo sono permanentemente escluse, mentre per quello di trasmissione si impiega il metodo di esclusione delle frequenze dinamico.

Entro 15 secondi di un servizio di trasmissione radio HF presente in una delle bande di esclusione citate, il livello del segnale plc non deve eccedere il livello di tensione simmetrica di 56dB(μ V)(AV) in una banda di 9KHz.

Il segnale trasmesso plc deve evitare di usare le frequenze di un servizio radio identificato e la minima larghezza della banda di esclusione deve essere di 10KHz(+/-5KHz centrato sulla portante del segnale di trasmissione radio).

La banda di esclusione deve soddisfare poi i requisiti che sono indicati in figura e in tabella: si hanno tre tipologie di bande(step a, b, c) con larghezze che vanno da 2 a 20KHz, con le corrispondenti distanze dal più basso livello di picco del segnale.



	Frequency width [kHz]	Distance from lower level of the notch: A(x) [dB]
Step a	2	0
Step b	10	≤ 25
Step c	20	≤ 35

Figura 5.25: Requisiti per un range di esclusione di frequenze dinamico [61]

Se dei servizi di trasmissione radio vicini vengono identificati o un servizio digitale DRM occupa più di un singolo canale, la larghezza della banda di esclusione deve essere aumentata con i multipli interi di 5KHz.

Infine la banda di esclusione deve rimanere esclusa in modo continuo per l'intera durata in cui il servizio radio è attivo, a cui si aggiunge un massimo di 3 minuti addizionali dopo che si rileva la sua cessazione.

Per quanto riguarda i limiti dei disturbi di radiazione si fa riferimento a quelli dei dispositivi di classe B, definiti nella normativa EN55022.[61]

Table 10: EN55022 limits for radiated disturbance of class B ITE at a measuring distance of 10 m	
Frequency [MHz]	Quasi-peak limits [dB μ V/m]
30 - 230	30
230 - 1000	37

Figura 5.26: Limiti per i disturbi di radiazione dei dispositivi di classe B della EN55022 [74]

In conclusione dunque questo testo potrebbe rappresentare l'ultima possibilità di avere un'unica normativa a livello europeo, almeno per le frequenze fino a 30MHz, inoltre potrebbe costituire un buon punto di partenza per estendere poi la copertura anche oltre tale valore, infatti il TC210/WG11 ha creato la Task Force "PLT over 30MHz" con limite previsto a 470 o 800MHz.[60]

Il testo, al momento in cui questa tesi viene completata, si trova in stato di approvazione in una fase che si dovrebbe concludere a novembre 2012, dopodiché si dovrebbe procedere ad una nuova votazione da parte dei membri del CENELEC entro la data prestabilita del 23/03/2013.[75]

Capitolo 6 Applicazioni e prodotti sul mercato

6.1 Applicazioni commerciali

In questa parte viene presentata una serie di applicazioni commerciali che utilizzano la tecnologia powerline: si tratta di sistemi di controllo centralizzato e di automazione che si collocano prevalentemente nell'ambito dell'home automation, ma riguardano anche altre tipologie d'impianto come quello d'illuminazione o fotovoltaico.

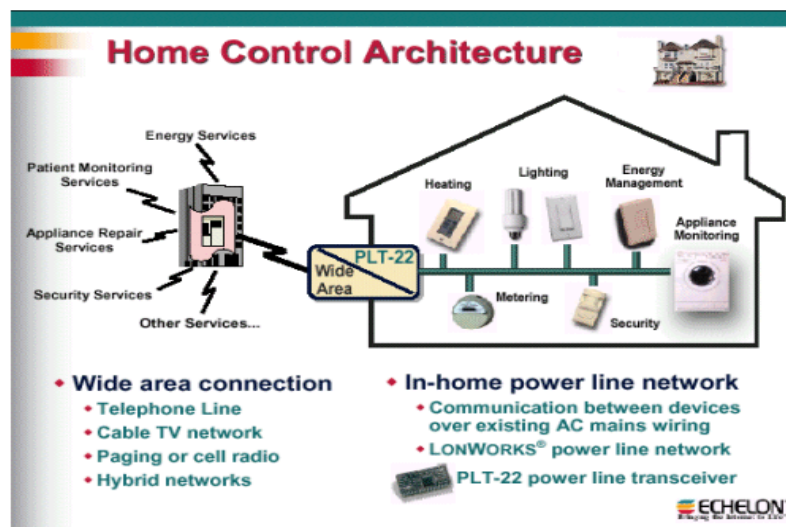


Figura 6.1: Schema di un sistema di home automation [105]

Tra le società produttrici di elettrodomestici c'è Merloni, che produce dispositivi intelligenti come forni o lavatrici in grado di comunicare tra loro tramite la rete elettrica. Nel settore energetico Enel ha proposto un nuovo contatore, che può effettuare la lettura automatica dei consumi, garantisce un maggior precisione nella limitazione della potenza erogata e permette una tariffazione più flessibile.

Nell'ambito della domotica poi, si possono trovare sistemi innovativi come il MyHome di BTicino o il PowerDom di D-Tech Electronic, che possono realizzare delle reti di automazione domestica, in cui gli elettrodomestici compiono azioni autonomamente e possono sempre essere controllati e comandati a distanza.

In ambiti più specifici invece Beghelli ha sviluppato il sistema Central Test ad Onde Convogliate, con cui si può effettuare il controllo centralizzato di un impianto d'illuminazione d'emergenza, mentre SMA sfrutta le linee elettriche col sistema Sunny Boy per il trasferimento di dati di misura in un impianto fotovoltaico.

Infine troviamo il sistema Minos System di UMPI, che realizza la telegestione di un impianto d'illuminazione pubblica o in altri luoghi esterni e grazie ad un'ottimizzazione dell'utilizzo dell'impianto consente una notevole riduzione dei consumi e dei costi di gestione.

6.1.1 Il Sistema Wrap Merloni-Ariston

La società Merloni ha sviluppato una serie di elettrodomestici denominata “Ariston Digital”, che fa uso del sistema WRAP(Web Ready Appliances Protocol) elaborato dalla società stessa con diversi partner internazionali e utilizzando il protocollo LonWorks di Echelon.

Questi dispositivi “intelligenti” sono in grado di comunicare tra loro e con l'ambiente esterno utilizzando la rete di distribuzione elettrica, sono facili da installare e da utilizzare. Ognuno è dotato di un sistema di regolazione perfezionato basato su un hardware(microcontrollori specifici), un software innovativo(con tecnologia fuzzy logic) e dei sensori che hanno il compito di inviare al microcontrollore le informazioni necessarie per avere il miglior rapporto prestazioni/consumi.

Le applicazioni di questo sistema riguardano tre aree principali che sono la teleassistenza, il collegamento internet e la gestione dei consumi.

Con il servizio di teleassistenza gli elettrodomestici possono trasmettere al Centro di Assistenza informazioni sul loro funzionamento e segnalare la presenza di eventuali malfunzionamenti, consentendo così all'operatore di intervenire subito, ad esempio se viene a mancare la corrente si possono salvare i cibi nel congelatore.

Grazie al collegamento ad internet poi è possibile scaricare da un apposito sito i programmi per gli elettrodomestici(e-cooking) e aggiungerli a quelli già presenti in memoria, ad es. per il forno si possono trovare i cicli di cottura per ogni piatto, inoltre si possono avere consigli dagli esperti e informazioni utili sull'uso degli elettrodomestici.

Infine con la gestione dei consumi gli elettrodomestici, che si scambiano informazioni tra loro, possono regolare il consumo in base all'energia assorbita in ogni istante cercando di evitare black-out, stabilire una scala di priorità in casi di emergenza e lavorare nelle fasce orarie corrispondenti a tariffe più convenienti.

Tra i prodotti si ricorda la lavatrice interattiva e multifunzionale Margherita2000, in grado di svolgere tutte le funzioni sopra citate, in particolare grazie al suo apparato elettronico WRAP Inside: può aggiornarsi scaricando nuovi cicli di lavaggio da internet, si può programmare e controllare col cellulare e garantisce bassi consumi autoregolandosi.

Da segnalare anche Leon@rdo, un sistema di gestione digitale in grado di interagire con più elettrodomestici: si tratta di un piccolo schermo touch screen con cui si può accedere ad internet, visualizzare informazioni utili per un utilizzo ottimale dei dispositivi e fare anche la spesa per via telematica.[2] [76]



Figura 6.2: Gli elettrodomestici intelligenti Merloni-Ariston [105]

6.1.2 Il Telegestore ENEL

Il Telegestore ENEL è un sistema innovativo per realizzare la gestione remota dei contatori di elettricità con le onde convogliate.

I componenti che ne fanno parte sono:

- ⤴ Il contatore elettronico per misurare il consumo di energia, comunicare i dati della lettura, ricevere gli aggiornamenti sui parametri contrattuali scelti dal cliente ed effettuare l'allacciamento. Oltre alle funzioni di misura è dotato di un display per visualizzare le informazioni contrattuali e sui consumi, un modulo per comunicare su linea elettrica con la centrale e un dispositivo di abilitazione della connessione della fornitura da remoto.
- ⤴ Il concentratore, che viene installato nelle cabine secondarie per poter raccogliere i dati registrati dai contatori che vi sono collegati.
- ⤴ Il sistema centrale, che ha il compito di gestire l'intero sistema, ricevendo e inviando i dati ai concentratori.
- ⤴ La centrale operativa, la quale effettua la gestione dell'acquisizione dei dati di misura e delle operazioni contrattuali con il contatore.

I vantaggi apportati sono: una maggior precisione nella fornitura dell'energia, un miglior controllo dei carichi, la lettura automatica che esclude la figura del letturista, il controllo istantaneo dei consumi e dei costi e la possibilità di avere dei resoconti periodici per poter pianificare strategie volte al risparmio.

Con il telegestore è stato possibile introdurre un sistema di tariffazione nuovo e flessibile, adattabile ad ogni esigenza, infatti nel 2005 sono state proposte le tariffe multiorarie, con le quali ogni famiglia può scegliere un piano tariffario basato sulle proprie abitudini di consumo, che consentirà loro di risparmiare.

Oltre a ciò viene migliorata l'efficienza dei servizi e viene incentivato il consumo di energie nelle fasce orarie di minor carico.

In particolare però è importante la precisione nella limitazione della potenza erogata, che avviene con un microprocessore, il quale non permette irregolarità, garantendo sempre una taratura fissa.[2] [77]

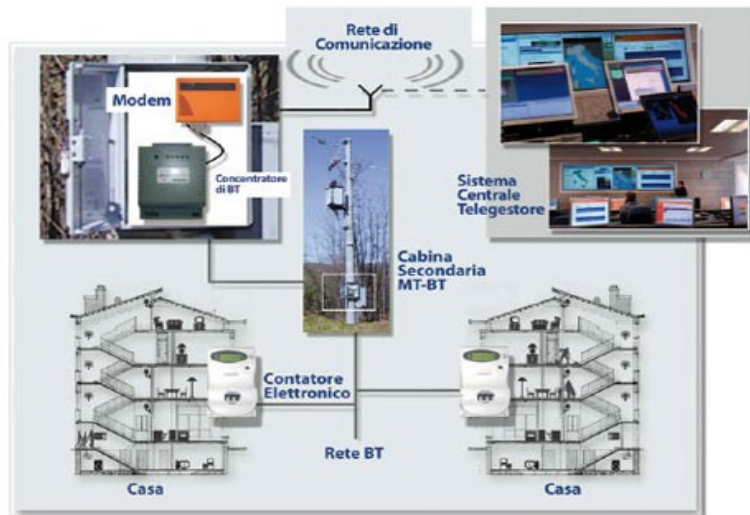


Figura 6.3: Schema del Telegestore Enel [77]

6.1.3 Il sistema MyHome di BTicino

MyHome è il sistema di home automation di BTicino, che propone un modo nuovo e innovativo di realizzare l'impianto elettrico, permettendo di essere sempre aggiornati sullo stato degli elettrodomestici anche quando ci si trova fuori di casa e di poterli comandare tramite cellulare o internet.

Con il software multimediale MyHome Web si può avere un'offerta per la gestione a distanza dell'abitazione flessibile e adattabile alle proprie esigenze, inoltre è possibile definire diversi livelli di accesso per i componenti della famiglia, dove ad ognuno viene assegnato un certo numero di aree e di limitazioni.

I servizi offerti sono diversi e spaziano su vari settori, ad esempio per la sicurezza si ha un sistema di antifurto che segnala sul cellulare eventuali tentativi di intrusione e si hanno sistemi di allarme che sono in grado di poter gestire situazioni pericolose come la perdita di gas, gli allagamenti o la mancanza di corrente.

Con il videocontrollo si hanno telecamere che sorvegliano i locali attraverso un videocitofono e possono videoregistrare le immagini in caso di allarme, permettendo poi di visualizzarle in un'area riservata del portale.

La protezione è garantita da sistemi salva-vita che intervengono quando si verificano sovraccarichi e in caso di black-out possono riattivare la corrente a distanza.

Le funzioni integrate consentono di poter svolgere particolari azioni in caso di pericolo, come l'accensione delle luci in caso di intrusione per confondere i ladri.

Oltre ai servizi per la sicurezza però ci sono anche quelli che consentono di regolare al meglio le condizioni all'interno dell'abitazione, come il clima, la luce e i suoni, quelli che possono apportare un risparmio energetico con un'ottimizzazione della gestione dei carichi domestici, infine quelli audio/video e di gestione dell'accesso ad internet. In definitiva buona parte delle azioni compiute dai dispositivi viene automatizzata e si può avere sempre sotto controllo la situazione della propria abitazione.[2] [78]



Figura 6.4: I servizi offerti dal sistema MyHome [106]

6.1.4 Il sistema CentralTest di Beghelli

CentralTest ad Onde Convogliate di Beghelli è un sistema per il controllo centralizzato del funzionamento di un impianto d'illuminazione d'emergenza: gli elementi che lo compongono sono la centrale di controllo che assiste l'operatore nelle funzioni di controllo e un numero variabile di lampade d'emergenza dipendente dalla configurazione dell'impianto.

La trasmissione dei dati avviene utilizzando le onde convogliate sulla rete elettrica a 220/230V, senza dover modificare l'impianto e riducendo i tempi d'installazione.

Il sistema può essere integrato all'interno di un sistema centralizzato con funzioni più estese, oppure si può realizzare un controllo a distanza degli apparecchi tramite la linea telefonica.

La centrale registra il numero di lampade associate a dei codici d'identificazione, così potrà individuare le lampade soggette a malfunzionamenti.

Lo scambio delle informazioni tra la centrale e l'impianto consente le seguenti funzioni: test di funzionamento e autonomia dei dispositivi, abilitazione o meno della funzione d'emergenza e l'accensione incondizionata dei dispositivi, le quali possono essere eseguite su tutto l'impianto o un certo numero di lampade.[79]

6.1.5 Il sistema Sunny Boy di SMA

Sunny Boy, elaborato dalla società SMA, è un sistema di controllo centralizzato per un impianto fotovoltaico, costituito da diversi inverter collegati ai pannelli da cui si ricava l'energia solare.

Anche in questo caso la comunicazione dei dati avviene sfruttando la tecnologia powerline, infatti le informazioni provenienti dagli inverter vengono modulate da un modem NML sulla rete a 230V, che le rende disponibili su qualsiasi presa.

Sono possibili tre configurazioni di collegamento: nella prima gli inverter Sunny Boy comunicano con un Sunny Boy Control, che è un'unità di rilevamento e controllo dei dati, nella seconda gli inverter comunicano con un pc tramite l'unità di controllo, infine nella terza si ha il collegamento diretto col pc.

In presenza di una rete elettrica particolarmente disturbata dal rumore è comunque possibile utilizzare il sistema, facendo ricorso ad una linea dati separata, con i dispositivi dotati di moduli aventi una particolare interfaccia: nel collegamento di un dispositivo col pc la distanza massima è di 12m, mentre in quello tra più dispositivi e l'unità di controllo si raggiunge un massimo di 1,2Km.

Nel caso del collegamento diretto col pc è stato sviluppato un pacchetto di programmi Sunny Data, avente un'interfaccia grafica che consente di avere sempre sotto controllo l'andamento dell'impianto, con la visualizzazione di tutti i dati di misura e la loro rappresentazione grafica.

In alternativa si possono collegare gli inverter al Sunny Boy Control, un'unità di rilevamento dei dati di misura e di diagnosi, la quale poi può trasferire le informazioni al pc o via fax ad un indirizzo prescelto.

Le dimensioni ridotte ne consentono una facile installazione, l'uso è semplice e intuitivo così come la lettura che avviene su un ampio display, il quale mostra il rendimento momentaneo e lo stato dei contatori energetici.

In particolare si possono visualizzare in ogni momento: il rendimento d'immissione, la tensione del generatore solare, l'energia prodotta sino alla lettura, le ore di funzionamento, l'energia giornaliera e lo stato attuale di funzionamento.[80]

6.1.6 Il sistema PowerDom di D-Tech Electronic

Il sistema PowerDom, come quello MyHome, è un innovativo sistema domotico realizzato da D-Tech Electronic, capace di realizzare una rete di automazione domestica utilizzando la rete di alimentazione elettrica all'interno dell'abitazione.

PowerDom presenta sia i vantaggi dei sistemi wireless(l'assenza di cavi), che quelli dei sistemi a bus(la robustezza di comunicazione), essendo possibile ampliarlo ulteriormente in un secondo tempo ed essendo compatibile con le serie di prodotti civili in commercio.

La gamma dei prodotti è ampia a partire dalla centrale di controllo touch screen PowerGuard, per controllare e inviare comandi ai vari moduli della casa, sia sulla rete monofase che trifase.

Il modulo Power Control è in grado di gestire i consumi in base alle esigenze e i budget previsti; PowerEye ha un sensore ad infrarossi che può essere impiegato sia nel sistema antintrusione che per gestire allarmi tecnici; PowerAccess serve per il controllo degli accessi, infine PowerConnect e PowerGSM permettono di inviare i comandi dal computer o dal cellulare.

Utilizzando i moduli singolarmente o in combinazione si possono ottenere molteplici servizi, a cominciare dal risparmio energetico in cui si dispone PowerMeter in serie al contatore e PowerControl per ogni elettrodomestico, andando a creare un sistema per il controllo dei consumi, in cui l'utente può verificarne giornalmente lo stato e impostare dei budget energetici per distaccare le utenze, in base alle priorità e ai livelli di consumo impostati.

Abbinando PowerEye e PowerAlarm si ottiene un efficace sistema di allarme, con i moduli che una volta rilevata l'intrusione attivano la sirena e mandano sms ai numeri telefonici preimpostati.

Per la sicurezza è possibile realizzare un sistema di controllo per gli allarmi tecnici dovuti a fughe di gas, acqua, fumo, etc, collegando uno o più sensori ad ogni PowerEye, così appena si rileva l'evento pericoloso come la fuga di gas, viene subito presa una contromisura, in questo caso il distacco dell'elettrovalvola.

Si può ottenere il controllo degli accessi grazie alla tecnologia RFID: dei TAG (carte o portachiavi) vengono programmati diversamente per ogni utente, così in base alle impostazioni assegnate ognuno potrà svolgere determinate funzioni, mentre sarà escluso da altre.

I PowerClima vengono impiegati per avere un sistema di termoregolazione centralizzato, in cui si possono definire le condizioni climatiche in ogni stanza e da remoto.

Collegando PowerMeter all'uscita dell'inverter si può effettuare il monitoraggio dell'impianto fotovoltaico tramite sensori TA, come nel sistema Sunny Boy, così l'utente può verificare in tempo reale la produzione di energia elettrica.

Infine si può automatizzare il funzionamento di tende, luci, tapparelle, etc, con i moduli PowerI/O dotati di 4 ingressi digitali e 4 uscite a relè, per determinarne l'attivazione in base alle proprie esigenze.[81]

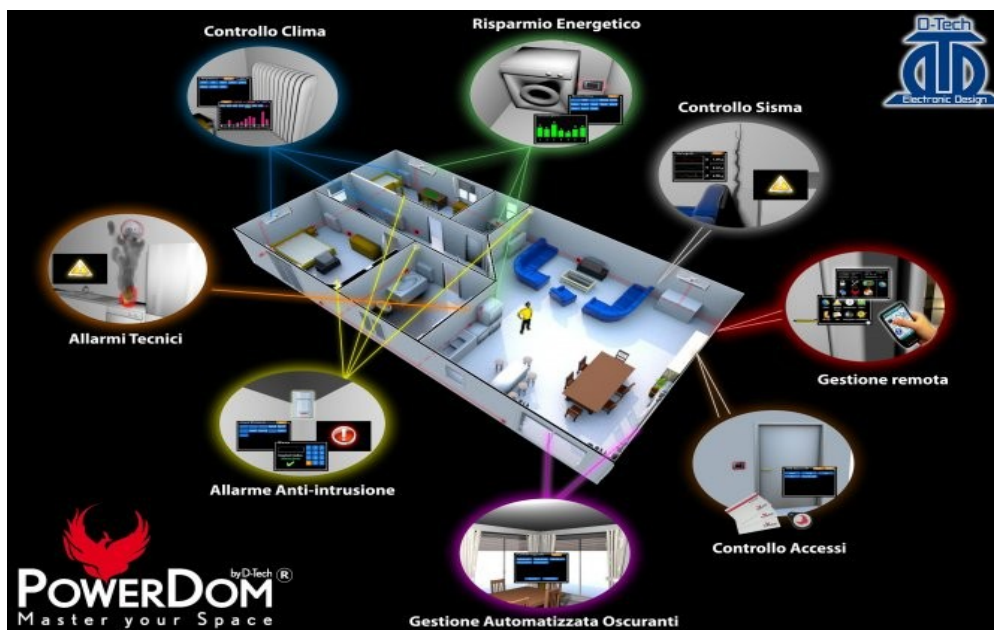


Figura 6.5: Il sistema PowerDom di D-Tech Electronic [65]

6.1.7 Il sistema Minos System di UMPI

Il sistema Minos System creato dalla società UMPI serve per effettuare la telegestione dell'illuminazione pubblica ed esterna; gli ambiti di applicazione sono molteplici e riguardano l'illuminazione di monumenti, autostrade, porti, aeroporti, stazioni ferroviarie, tunnel e aree industriali.

I vantaggi offerti sono numerosi a cominciare dal risparmio energetico, con una riduzione fino al 45% dei consumi, che si può ottenere: programmando opportunamente i comandi di accensione e spegnimento, riducendo il flusso luminoso di ogni punto-luce, eliminando le accensioni diurne per la ricerca dei guasti e riducendo le dispersioni di linea per basso fattore di potenza.

La manutenzione è trasparente, con una riduzione dei costi di gestione tra il 35 e il 55%, grazie alla riduzione dei tempi d'intervento, al controllo in tempo reale degli elementi guasti con l'eliminazione dei costi dovuti alla loro ricerca e ad un'ottimizzazione delle risorse.

Con un utilizzo costante e programmato del sistema il ritorno dell'investimento si ha in tempi brevi, la velocità di ammortamento dipende dalla tipologia d'impianto ma le esperienze installative permettono di calcolare il ritorno tra i 3 e gli 8 anni.

Per l'ambiente, con la riduzione dei consumi, si riduce l'inquinamento atmosferico e si eliminano le scorie emesse dalle lampade guaste, mentre con l'ottimizzazione dell'utilizzo della luce si riduce l'inquinamento luminoso e si aumenta la durata media delle lampade, che determina una minor produzione di rifiuti.

Con la prevenzione delle condizioni di pericolo generate dagli impianti si ha una maggior sicurezza, infatti con la giusta intensità di luce in ogni punto si riducono i rischi dovuti alla scarsa illuminazione, inoltre viene assicurato il buon funzionamento della rete in modo permanente.

Infine vengono offerti servizi aggiuntivi quali l'installazione di display informativi e pubblicitari lungo la strada senza cablaggi aggiuntivi, la trasformazione dell'impianto in una rete LAN con hot-spots Wi Fi sui lampioni per avere l'accesso ad internet, la visualizzazione dei parametri meteorologici sui display per fornire un servizio di previsioni e la collocazione di punti di ricarica batterie dei mezzi elettrici.

L'architettura del sistema è costituita da un numero variabile di lampioni disposti sulla strada, che inviano le informazioni con le onde convogliate ad un quadro elettrico stradale con modulo di comando Andros, quest'ultimo poi comunica via modem GSM/GPRS, RTG o protocollo TCP/IP con un server IOS, dotato di software Minos X per la telegestione dell'impianto.

Con il telecontrollo del quadro si può accendere/spegnere l'impianto in modo personalizzato con l'orologio astronomico, individuare anomalie sulla linea di distribuzione, effettuare la telelettura di consumi e parametri elettrici/meteo, oltreché il telecontrollo della regolazione e della stabilizzazione della tensione.

Con il telecontrollo dei punti di luce si possono inviare comandi programmati di accensione/spegnimento di una o più lampade e di riduzione bi-potenza del flusso luminoso, inoltre si può avere la diagnosi e la segnalazione delle anomalie delle lampade. Per fare ciò in ogni lampione sono presenti dei moduli di controllo e comando da remoto Syra disposti nei pozzetti, nelle asole collocate nella parte bassa e sui vertici in prossimità delle lampade.

In totale il server IOS può comunicare con 100 centrali Andros disposte nei quadri elettrici, mentre ognuna di queste(ad es.Andros CMS) può gestire fino a 1022 moduli di telecontrollo lampada Syra su 15 gruppi.[82]

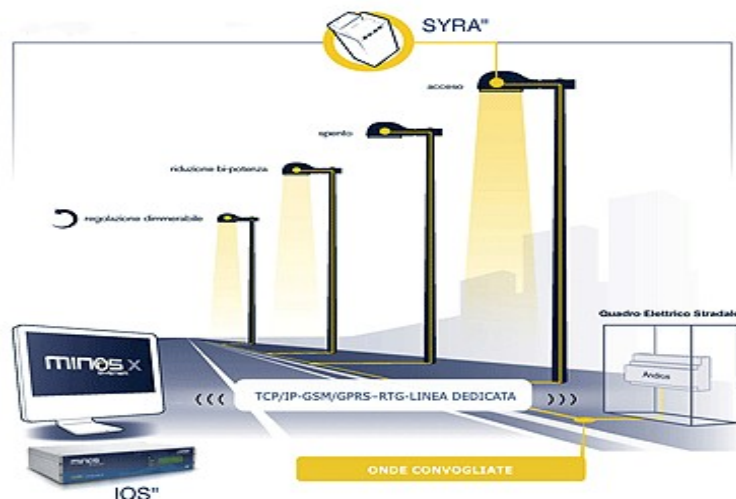


Figura 6.6: Schema del sistema Minos System [107]

6.2 Prodotti per applicazioni a banda larga

In questa sezione viene proposta una selezione di adattatori Ethernet powerline adatti per applicazioni a banda larga come l'accesso ad internet veloce, le applicazioni audio/video, lo streaming multimediale e il multiplayer gaming.

Sono state prese in considerazione alcune delle più importanti aziende produttrici e per ognuna si sono scelti uno o più prodotti tra quelli più nuovi o che offrono le performance migliori: la maggior parte impiega lo standard HomePlug AV, in media si raggiunge una distanza pari a 300m, mentre per la velocità si hanno tre categorie (85, 200 e 500Mbps) e in alcuni casi come nel PowerLan1000 si raggiungono anche i 1000Mbps.

Occorre precisare però che si tratta di valori massimi di velocità dichiarati, mentre nella realtà le velocità effettive sono inferiori, in dipendenza anche dal numero di utenti collegati alla rete, ad es. se in un prodotto è riportata la velocità massima di 200Mbps, il throughput medio in uscita non supererà la metà.

Alla fine è stata riportata una tabella riassuntiva, dove per ogni prodotto sono indicate le caratteristiche più rilevanti con i relativi prezzi.

Per determinare questo valore, si sono considerati i seguenti siti di vendita on line: www.abacosysweb.com, www.eprice.it, www.amazon.com, www.bestbuy.com e www.google.it/shopping cercando di riportare i prezzi più competitivi, ma bisogna tener conto oltre alle differenze tra un sito e l'altro, anche di eventuali promozioni e offerte speciali, che potrebbero consentire di trovare un prodotto ulteriormente scontato.

6.2.1 Aztech

Il primo prodotto proposto della Aztech è l'adattatore Ethernet PowerlineAV 200Mbps HL110EPA: dotato di una porta Ethernet, richiede per la configurazione Windows98SE/2000/ME/XP/Vista ed è abbinato ad un cavo Ethernet da 1,5m e ad un cd.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard Ethernet: IEEE802.3 10/100 AutoMD/MDIX
- Velocità: 200Mbps
- Sicurezza: 128-bit AES criptato
- Led di Stato: Alimentazione, Link Powerline attivo, Link Ethernet attivo



Figura 6.7: Adattatori Aztech: HL110EPA e HL110EW [83]

La seconda proposta invece integra tre prodotti insieme nel Powerline 200Mbps HL100EW con estensore wireless, che sono l'adattatore, un access point wi-fi e 2 prese Ethernet.

Con questa soluzione si può estendere la connessione adsl in modalità wireless fino a 300Mbps all'interno dell'abitazione, ma si può anche disporre di un router wi-fi con due porte Ethernet RJ-45 per collegare e mettere in rete: Iptv HD, telecamere IP, decoder satellitari, telefoni IP, lettori multimediali, etc.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: IEEE802.11 b/g/n, IEEE802.3 10/100 AutoMD/MDIX
- Velocità di trasferimento: 200Mbps(plc), 300Mbps(wireless)
- Led di Stato: Alimentazione, Powerlink attivo, Flusso dati Ethernet, Link Wireless attivo
- Sicurezza Wireless: Wep, Wpa, Wpa2 -Sicurezza plc: 128-bit AES criptato [83]

6.2.2 Belkin

Col Surf Powerline AV, disponibile in un pacchetto di due adattatori, comprensivo di Networking Adapter e cd di configurazione si possono raggiungere i 200Mbps.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: IEEE802.3, IEEE802.3u, HomePlug AV, -Distanza: fino a 300m
- Velocità di trasferimento: fino a 200Mbps -Sicurezza: 128-bit AES criptato
- Interfacce: 1x100Base-TX-RJ45, 1xHomePlug AV

Il Powerline HD500 Play con Bridge e Gigabit Ethernet è un po' più costoso ma può raggiungere una velocità di trasferimento fino a 500Mbps.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: IEEE802.3, IEEE802.3u, HomePlug AV, -Distanza: fino a 300m
- Velocità di trasferimento: fino a 500Mbps -Sicurezza: 128-bit AES criptato
- Interfacce: 1x1000Base-TX-RJ45, 1xHomePlug AV [84]



Figura 6.8: Adattatori Belkin: Surf AV e HD500 Play [84]

6.2.3 Devolo

Il dLAN 200 AVPlus Starter Kit si caratterizza per avere la funzione “Quality of Service” la quale rileva la richiesta di banda, ottimizza il flusso dei dati e assicura prestazioni sempre elevate.

Inoltre se i dispositivi rimangono spenti per un certo periodo di tempo viene automaticamente ridotto il consumo energetico del 90%.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: Ethernet, Fast Ethernet, HomePlug AV(HPAV) -Distanza: 300m
- Velocità di trasferimento: 200Mbps -Rete/Protocollo di trasporto: TCP/IP, CSMA/CA
- Requisiti di sistema: Linux, Apple MacOS X, Windows XP/Vista/7
- Modulazioni: 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, BPSK, QPSK, OFDM

L'adattatore dLAN 500 AVtriple+ dispone di tre porte Ethernet a cui possono essere collegati fino a tre computer o apparecchi IT di rete, raggiungendo una velocità massima di 500Mbps, inoltre sono presenti una presa di corrente integrata e un filtro per garantire le migliori prestazioni della serie dLAN.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.3x, HomePlug AV, IEEE1901
- Velocità di trasferimento: 500Mbps -Sicurezza: 128-bit AES
- Requisiti di sistema: Linux, Apple Mac OS X, Windows XP/Vista/7
- Modulazioni: 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM, BPSK, QPSK, OFDM
- Interfacce: 1xHomePlug AV, 3x10Base-T/100Base-TX/1000Base-T-RJ-45 [85]



Figura 6.9: Adattatori Devolo: dLAN200AVPlus Starter kit e 500AVtriple+ [85]

6.2.4 Digicom

L'adattatore Ethernet PowerLan1000 è il prodotto di punta della famiglia PowerLan di Digicom, basato sugli standard HomePlug AV, sfrutta le tecnologie MediaXtream e XtendNet per creare dei canali a trasmissione multipla con velocità di connessione fisica fino a 1000Mbps.

Viene progettato per applicazioni che richiedono un'elevata velocità di trasferimento come IPTV, Streaming Video in HD, Online Gaming e VOIP, ma è compatibile anche con i dispositivi Powerline AV a 200Mbps e HomePlug a 85Mbps.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo standard: PowerLine AV 1000Mbps, IEEE802.3/3ab/3u, HomePlug AV, MD/MDI-X, QoS Ethernet
- Velocità livello fisico: 1000Mbps
- Copertura: fino a 400mq
- Sicurezza: 128-bit AES
- Interfacce: 1x10Base-T/100Base-TX-RJ-45, 1xHomePlug AV
- Dispositivi collegabili in rete: 16 con connessioni punto-punto e multi-punto
- Supporto Ipv6 e IGMP
- Gestione QoS, 4 livelli di priorità, 8 livelli VLAN [86]



Figura 6.10: L'adattatore PowerLan 1000 di Digicom [86]

6.2.5 D-Link

Il kit DHP-501AV comprende due adattatori da 500Mbps che implementano il Quality of Service, il quale assegnando la massima priorità al traffico internet garantisce l'assenza di ostacoli nelle applicazioni multimediali quando si naviga in rete o si effettuano download, inoltre dispone della modalità per il risparmio energetico ed è compatibile con i prodotti basati sullo standard IEEE1901 e sul PowerLine AV precedente.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, HomePlug AV, IEEE1901
- Velocità di trasferimento: 500Mbps
- Sicurezza: 128-bit AES
- Requisiti di sistema: Windows 2000 SP4, XP SP2, Vista e 7
- Interfacce: 1xIEEE1901(WAN), 1x10Base-T/100Base-TX/1000Base-T-RJ-45(LAN)
- Quality of Service e D-Link Green per il risparmio energetico

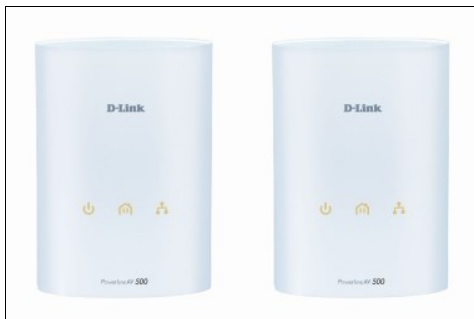


Figura 6.11: Adattatori D-Link: DHP-501AV e DHP-W306AV [87]

Il Wireless N Extender DHP-W306AV è un adattatore con estensore wireless per trasformare ogni presa di corrente in un punto di connessione cablato o wireless.

Con il nuovo standard Wireless N si possono raggiungere i 300Mbps, mentre la velocità di trasferimento dati sulla rete elettrica arriva a 200Mbps, anche in questo caso sono presenti il QoS per la definizione delle priorità delle attività sensibili ai ritardi e la tecnologia D-Link Green per il risparmio energetico.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: Ethernet, Fast Ethernet, IEEE802.11b/g/n, HomePlug AV
- Banda di frequenza: 2,4GHz -Velocità: 300Mbps(wireless), 200Mbps(plc)
- Sicurezza: WEP 128bit, WEP 64bit, WPA, WPA2, 128bit AES
- Interfacce: 1xHomePlug AV, 1x10Base-T/100Base-TX-RJ-45
- Antenne: integrate omnidirezionali con guadagno di 2dBi [87]

6.2.6 Edimax

L'adattatore HP-5001 è quello che raggiunge la velocità maggiore tra quelli della Edimax(500Mbps), è conforme agli standard HomePlug e copre una distanza di 300m.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: HomePlug AV, IEEE1901, IEEE802.3/3u/ab
- Velocità di trasferimento: 500Mbps -Copertura: 300m
- Requisiti di sistema: Windows 2000/XP/Vista/7 -Sicurezza: 128bit AES
- Interfacce: RJ-45 Ethernet LAN 10/100/1000Mbps
- Modulazioni: 8/16/64/256/1024/4096-QAM, BPSK, QPSK, ROBO

L'HP-2002APn è invece un adattatore da 200Mbps, ma dotato di un punto di accesso wireless da 150Mbps, con un antenna ad alto guadagno.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: HomePlug AV, IEEE802.3/3u, IEEE802.11b/g/n
- Velocità: 200Mbps(cavo), 150Mbps(wireless) -Copertura: 200m
- Requisiti di sistema: Windows 98SE/ME/2000/XP/Vista
- Sicurezza: 128bit AES, 64/128/256bit WEP, WPA, WPA2, SSID
- Interfacce: Ethernet LAN 10/100Mbps
- Modulazioni: 8/16/64/256-QAM, BPSK, QPSK, ROBO, DBPSK, DQPSK, CCK [88]



Figura 6.12: Adattatori Edimax: HP5001 e HP-2002APn [88]

6.2.7 Hamlet

Questa società oltre agli adattatori da 200Mbps produce la multipresa HNPL200P4, in cui in unico prodotto si dispone di 4 prese di corrente e 4 porte Ethernet.

La corrente elettrica viene filtrata da disturbi e sbalzi di tensione, inoltre è presente un interruttore termico per i cortocircuiti e i sovraccarichi.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo standard: HomePlug AV 1.1, IEEE802.3/3u -Banda: 2-28MHz
- Velocità di trasferimento: 200Mbps -Copertura: 200m
- Requisiti di sistema: Windows 98SE/ME/NT/2000/XP/Vista, Apple, Linux
- QoS: 4 livelli di priorità, 8 livelli di priorità VLAN -Sicurezza: 128bit AES
- Interfacce: 4 porte Ethernet RJ-45 10/100Base-T, 4 prese di corrente
- Modulazioni: 8/16/64/256/1024-QAM, BPSK, QPSK, ROBO [89]

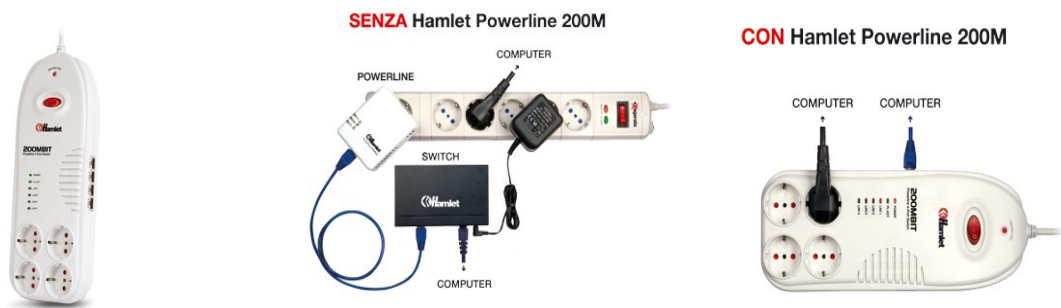


Figura 6.13: Multipresa Hamlet e confronto con una multipresa normale [89]

6.2.8 Intellinet

Dell'Intellinet si propone l'adattatore Ethernet AV500, che essendo di ultima generazione ha prestazioni più elevate, con velocità fino a 500Mbps e livelli di sicurezza incrementati.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: HomePlug AV, IEEE1901, IEEE802.3/3u/ab
- Velocità di trasferimento: 500Mbps -Banda di frequenza: 2-50MHz
- Sicurezza: 128bit AES -Requisiti di sistema: Windows XP/Vista/7
- Interfacce: LAN Ethernet RJ-45 10/100/1000, porta powerline AC
- Modulazioni: 8/16/64/256/1024-QAM, BPSK, QPSK, ROBO [90]



Figura 6.14: L'adattatore AV500 di Intellinet [90]

6.2.9 Netgear

Tra gli adattatori che possono raggiungere la velocità di 200Mbps si propone l'XAVB2101 Nano, con un design compatto ed elegante e in grado di assicurare una connessione sicura. Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: HomePlug AV, IEEE802.3
- Velocità: 200Mbps
- Requisiti di sistema: Windows XP/Vista/7, Apple
- Interfacce: porta Ethernet RJ-45

L'adattatore che può raggiungere la velocità di trasferimento maggiore è l'XAVB5001 che arriva fino a 500Mbps, ideale per trasferire dati di dimensioni notevoli.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: HomePlug AV, IEEE802.3, Ethernet
- Velocità: 500Mbps
- Requisiti di sistema: Windows Vista/7, Apple Mac OS X
- Interfacce: porta Ethernet RJ-45
- Netgear Green per il risparmio energetico

L'XAVB5004 invece è un kit che comprende oltre all'adattatore powerline una stazione particolare per l'home theater e il gioco: collega la tv, il lettore blue-ray o la console da gioco a Internet 3DHD ed effettua streaming multipli di video HD in full 1080p perfetti per il 3D Pick-a-Plug.

Dispone di 4 porte Ethernet con le quali si può anche selezionare la priorità da assegnare al dispositivo che si collega.

Caratteristiche tecniche:

- Protocollo Standard: HomePlug AV, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet
- Velocità: 500Mbps
- Requisiti di sistema: Windows XP/Vista/7, Apple
- Interfacce: 1xHomePlug AV, 4xRJ-45 10/100/1000 [91]



Figura 6.15: Adattatori Netgear: XAVB2101, XAVB5001 e XAVB5004 Home Theater [91]

6.2.10 Sitecom

Tra gli adattatori da 200Mbps LN-515 è il modello di base, ma esistono anche le versioni con presa passante, con porte Ethernet multiple e l'ultimo modello LN-521 con cui si possono collegare ad internet altri dispositivi in modalità wireless.

Caratteristiche tecniche (LN-515):

-Protocollo standard: HomePlug AV, IEEE802.3/3u -Velocità: 200Mbps

-Banda di frequenza: 4,3-20,9MHz -Sicurezza: 128bit AES

-Interfacce: porta Ethernet RJ-45 10/100

-Modulazioni: 8/16/64/256/1024-QAM, DBPSK, DQPSK, ROBO

Caratteristiche tecniche (LN-521):

-Protocollo Standard: HomePlug AV, IEEE802.3/3u, IEEE802.11b/g/n

-Velocità: 200Mbps(cavo), 300Mbps(wireless) -Banda: 4,3-20,9MHz

-Sicurezza: 128bit AES, WPA-PSK/AES, WPA2-PSK/AES

-Interfacce: 3xporte Ethernet RJ-45 10/100, due antenne interne

-Modulazioni: 8/16/64/256/1024-QAM, DBPSK, DQPSK, ROBO

Poi ci sono gli adattatori da 500Mbps anch'essi in diverse versioni, ad esempio troviamo l'LN-517 che consente un risparmio energetico del 60% e supporta il QoS, l'IPv4, l'IPv6, mentre l'LN-518 dispone anche di una presa passante integrata. [92]



Figura 6.16: Adattatori della Sitecom: LN-515, LN-521 e LN-518 [92]

6.2.11 Tabella comparativa degli adattatori Ethernet

Marca	Prodotto	Standard	Velocità (Mbps)	Distanza	Banda	Sicurezza	Porte	Prezzo (Euro)
Atlantis	NetPower 302AVkit(x2)	IEEE1901, HomePlug AV	200	300m	2-30 MHz	128bit AES NEK,NMK	1ETH	55,08
Atlantis	NetPower 303 Wireless N	HomePlug AV,IEEE802.11b/g/n	150	200m(plc) 120-350m (wireless)	2-30 (plc)241 2-2472 MHz(wireless)	128bit AES NEK,NMK 64/128WE P,WPA/WPA2-PSK	1ETH	57
Atlantis	NetPower 502AV kit(x2)	IEEE1901, HomePlug AV	500	300m	2-68 MHz	128bit AES,NEK, NMK	1ETH	75,29

Atlantis	NetPower 552P AV kit(x2)	IEEE1901, HomePlug AV	500	300m	2-68 MHz	128bit AES NEK,NMK	1ETH	87,99
Aztech	HL110EPA	IEEE802.3 10/100 AutoMD/MDIX	200			128bit AES	1ETH	39,5
Aztech	HL110EW	802.11b/g/n	200(plc),300(wireless)			128bit AES WEP,WPA	2ETH	49,59
Belkin	Surf AV(x2)	HomePlug AV	200	300m		128bit AES	1ETH	60
Belkin	Share AV	HomePlug AV	200	300m		128bit AES	3ETH	80
Belkin	PlayHD500	HomePlug AV	500	300m		128bit AES	1ETH	102
Cisco Systems	Linksys PLSK400	HomePlug AV	200			WPA2	4ETH	66,55
Cisco Systems	LinksysPLW K400(x2)	HomePlug AV, WiFi, WPS	200		2.4GHz	WPA2	1ETH	106,73
Devolo	DLAN200 AV plus(x2)	HomePlug AV	200	300m		128bit AES	1ETH ,presa	65,99
Devolo	DLAN200AV Wireless N	HomePlug AV,IEEE802.11n	200(plc),300(wireless)	300m		WPS	3ETH	67,4
Devolo	DLAN200AV duo(x2)	HomePlug AV	200	300m		128bit AES	2ETH	107,8
Devolo	DLAN500AV plus	HomePlug AV	500	300m		128bit AES	1ETH ,presa	79,79
Devolo	DLAN500AV triple+	HomePlug AV	500	300m		128bit AES	3ETH ,presa	93,99
Digicom	Powerlan 200P(x2)	HomePlug AV	200	400mq		128bit AES	1ETH ,presa	72,99
Digicom	Powerlan 1000P	HomePlug AV	1000	400mq		128bit AES	1ETH	141
D-Link	DHP-P307AV(x2)	HomePlug AV	200		2-30 MHz	128bit AES	1ETH ,presa	44
D-Link	DHP-P501AV(x2)	HomePlug AV	500		2-70 MHz	128bit AES	1ETH ,presa	82
D-Link	DHP-	HomePlug	200(plc		2-30	128bit AES	1ETH	51

	W306AV(x2)	AV),300(w ireless)		MHz			
Edimax	HP2002ES	HomePlug AV	200	300m	2-30 MHz	128bit AES	3ETH	34
Edimax	HP2002APn	HomePlug AV,IEEE8 02.11b/g/n	200(plc ,150(w ireless)	300m		128bit AES WEP,WPA/ 2	1ETH	50
Edimax	HP2003AC	HomePlug AV	200	300m	2-28 MHz	128bit AES	1ETH ,presa	44,23
Edimax	HP5001(x2)	HomePlug AV,IEEE1 901	500	300m	2-68 MHz	128bit AES	1ETH	72,16
Hamlet	HNPL200K2 (x2)	HomePlug AV	200		4.3-20.9 MHz	128bit AES	1ETH	58
Hamlet	HNPL20P4 multipresa	HomePlug AV	200	200m	2-28 MHz	128bit AES	4ETH /prese	49
Intellinet	AV200 Starter kit(x2)	HomePlug AV,IEEE1 901	200		2-28 MHz	128bit AES	1ETH	65,4
Intellinet	AV500 Starter kit(x2)	HomePlug AV,IEEE1 901	500		2-50 MHz	128bit AES	1ETH	116
Netgear	XAVB2001 ULTRA(x2)	HomePlug AV	200	5000squar e foot		128bit AES	1ETH	75
Netgear	XAVB2501(x 2)	HomePlug AV	200	5000squar e foot		128bit AES	1ETH ,presa	62
Netgear	XAV2001+X AVN2001	HomePlug AV,IEEE8 02.11b/g/n	200	5000squar e foot	2.4GHz wireless	128bit AES	1ETH	92,94
Netgear	XAVB5501 (x2)	HomePlug AV	500	450mq		128bit AES	1ETH ,presa	113,46
Netgear	XAVB5001 (x2)	HomePlug AV	500	5000squar e foot		128bit AES	1ETH	149,99
Netgear	XAVB5004 Home Theater	HomePlug AV	500	5000squar e foot		128bit AES	4ETH	91,43
Sitecom	LN-515(x2)	HomePlug AV	200		4.3-20.9 MHz	128bit AES	1ETH	48
Sitecom	LN-516(x2)	HomePlug AV	200		4.3-20.9 MHz	128bit AES	1ETH ,presa	70
Sitecom	LN-521	HomePlug AV,IEEE8	200(plc ,300(w		4.3-20.9 MHz	128bit AES WPA/2-	3ETH	114,4

		02.11b/g/n	ireless)			AES/PSK		
Sitecom	LN-517(x2)	HomePlug AV	500		2-30,30-50,50-68MHz	128bit AES	1ETH	71
Sitecom	LN-518(x2)	HomePlug AV	500		2-30,30-50,50-68MHz	128bit AES	1ETH, presa	95
Sitecom	LN-509	HomePlug AV	500		2-30,30-50,50-68MHz	128bit AES	3ETH	57
TP-Link	TL-PA511 kit(x2)	HomePlug AV	500	300m		128bit AES	1ETH	60
TP-Link	TL-PA211 kit(x2)	HomePlug AV	200	300m		128bit AES	1ETH	37,4
TP-Link	TL-PA251 kit(x2)	HomePlug AV	200	300m		128bit AES	1ETH, presa	48,48
TP-Link	TL-WPA281 kit(x2)	HomePlug AV, IEEE802.11b/g/n	200(plc), 300(wireless)	300m		128bit AES WER, WPA/2-PSK	1ETH	52,39
Western Digital	WD Livewire	HomePlug AV	200			128bit AES	8ETH	58

Figura 6.17: Tabella comparativa degli adattatori Ethernet a banda larga [83-92]

6.3 Prodotti per applicazioni a banda stretta

In questo capitolo viene proposta una selezione di prodotti per applicazioni a banda stretta (sistemi basati su chip, transceivers o modem), sviluppati dalle principali aziende sul mercato per soddisfare le esigenze necessarie alle rete intelligenti.

Questi prodotti infatti possono essere impiegati per la telegestione o il controllo centralizzato di edifici e varie tipologie d'impianto come quello d'illuminazione pubblica o quello di inverters fotovoltaici, cioè le applicazioni che sono state presentate all'inizio di questo capitolo.

Anche in questo caso per ogni azienda vengono prima presentati in dettaglio i prodotti più nuovi e performanti, correlati da una descrizione essenziale e dalle caratteristiche di funzionamento principali, poi alla fine si può trovare anche qui una tabella riassuntiva, costruita seguendo gli stessi criteri di quella del capitolo precedente.

Per i prezzi il sito di riferimento è: www.findchips.com.

6.3.1 ADD Semiconductor

L'ADD1021 è un sistema basato su chip(SoC) impiegato nelle comunicazioni powerline a banda stretta, designato principalmente come controllore per le applicazioni di smart metering e smart grid, cioè contatori e reti intelligenti.

La combinazione di unità hardware specificamente progettate(un microcontrollore 8051 con un blocco dedicato alla crittografia 128bit AES) e una tecnologia completamente digitale consentono di avere elevate prestazioni ma al tempo stesso costi contenuti.

In particolare si hanno buone performance alle alte temperature e contro il rumore, infatti grazie all'uscita digitale l'efficienza in trasmissione è molto alta, il che implica un minor consumo di potenza e l'utilizzo di un'alimentazione meno restrittiva.

Il sistema supporta lo standard PRIME e utilizza la modulazione OFDM, la quale impiega 97 sottoportanti nella banda A CENELEC, fa uso delle modulazioni differenziali BPSK, QPSK e 8-PSK e raggiunge una baud-rate di 128kbps.

Il microcontrollore ha incorporato lo strato fisico, il MAC e l'IEC61334-4-32 data link layer, si utilizzano i codici convoluzionali e la decodifica di Viterbi e un front-end analogico ottimizzato consente di avere un accoppiamento eccezionale.

Lo schema a blocchi è costituito essenzialmente da tre parti: l'ADD8051 C3A che è quella del microcontrollore e comprende anche una DMA, 2 interfacce UART, le interfacce seriali e un watchdog programmabile, l'ADD1221 che rappresenta il Medium Access Controller con FEC e algoritmo di Viterbi e l'ADD1321 che è il modem plc dotato di circuito di pilotaggio di potenza e front-end analogico. [93]

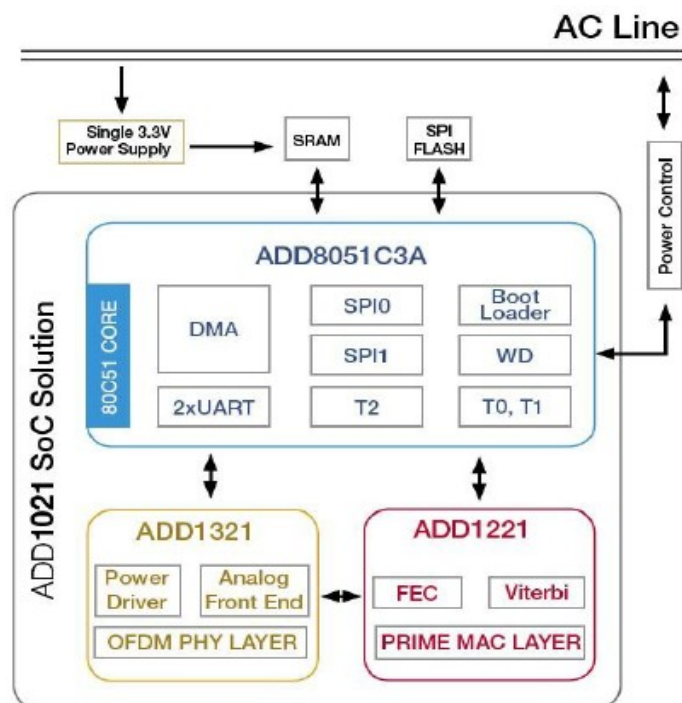


Figura 6.18: Schema a blocchi del SoC ADD1021 [93]

6.3.2 Ariane Controls

La Ariane Controls ha sviluppato il PLM-1, un modem digitale che implementa un trasmettitore/ricevitore in modalità half-duplex per le comunicazioni powerline: è una soluzione efficiente per costi sensibili e applicazioni a media data-rate.

Gli ambiti di applicazione principali di questo transceiver sono l'home automation con l'illuminazione, i pannelli solari, i termostati/HVAC e la sicurezza e l'automazione dei servizi pubblici con la lettura dei contatori, l'eliminazione del carico, la diagnostica da remoto e l'illuminazione di strade e tunnel.

La modulazione utilizzata è la FSK: l'informazione viene codificata variando la frequenza delle portanti tra due valori discreti in un range molto stretto, poi con l'aggiunta di funzioni di processo avanzate si possono ottenere elevate performance.

La comunicazione in condizioni di rumore elevato è comunque possibile grazie ad un filtraggio selettivo e ad algoritmi di detenzione e correzione di errori (CRC 16, FEC).

La baud-rate programmabile fino a 30kbps e la frequenza portante tra 50 e 500KHz comportano flessibilità e consentono di condividere lo stesso mezzo con altri sistemi, mentre la tecnologia a protocollo neutrale permette il trasporto di protocolli multipli sulla rete powerline.

Per risolvere eventuali conflitti sul canale viene impiegato il protocollo CSMA/CD, sono disponibili altri parametri programmabili come la generazione automatica di un preambolo e la gestione della priorità di pacchetto a 4 livelli, infine vengono implementati sia il PHY che il MAC.

Lo schema a blocchi seguente mostra un transceiver basato sul modem PLM-1, per essere completato sono necessari un power supply per fornire ai componenti la potenza DC, un front-end analogico che svolge il condizionamento di segnale e l'accoppiamento con la linea, un oscillatore per la generazione del clock e l'host, ovvero una CPU. Questa, che di solito è un microcontrollore, implementa gli strati superiori del protocollo di comunicazione e si può interfacciare sia con porte seriali che in parallelo. [94]

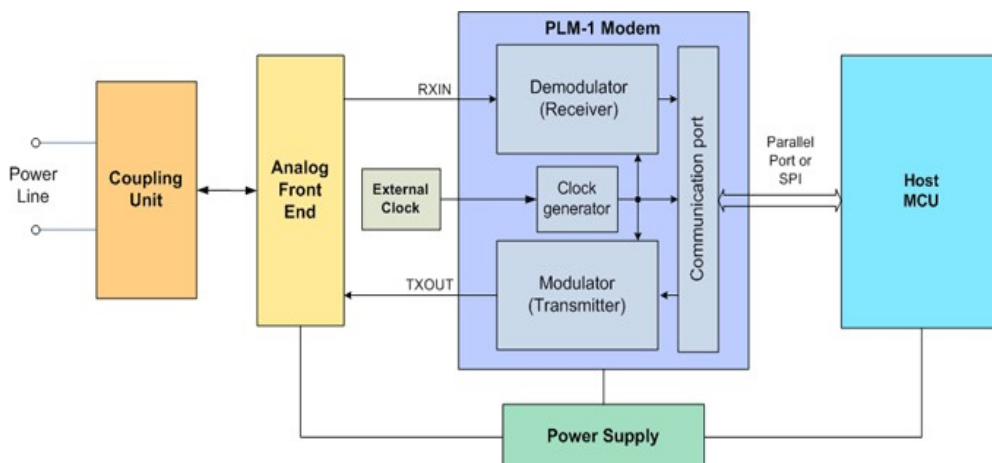


Figura 6.19: Schema a blocchi di un transceiver basato su PLM-1 [94]

6.3.3 Cypress

Il CY8CPLC20 è un chip integrato per comunicazioni powerline con modem PHY e stack per Protocollo di rete nello stesso dispositivo le quali formano il PLC core, mentre la parte PSoC core consente ai progettisti di sistemi di integrare funzioni multiple nello stesso chip.

Il modem PHY utilizza filtri ottimizzati e amplificatori per lavorare con plc ad alta e bassa tensione: per realizzare lo strato fisico viene impiegata la modulazione FSK con abilitazione di una comunicazione half duplex e supporto di una data-rate fino a 2,4kbps.

In trasmissione i dati digitali vengono serializzati in ingresso, poi il modulatore divide la frequenza dell'oscillatore in base ad un fattore che dipende dalla presenza di un 1 o uno 0 per i dati e genera un'onda quadra utilizzata per generare i segnali modulati FSK, infine viene abilitata l'amplificazione del segnale in base al rumore presente sul canale.

In ricezione invece il segnale FSK attraversa un filtro passa-banda HF che filtra le componenti in frequenza fuori-banda, poi viene moltiplicato ad un segnale per ottenere le frequenze a eterodina.

Dopo aver superato un filtro intermedio che rimuove il rumore fuori-banda, viene correlato per ottenere una componente DC(0/1) ed una ad alta frequenza, poi attraversa un filtro passa-basso che fornisce in uscita solo il segnale digitale a 2,4kbps ed elimina le altre componenti ad alta frequenza.

Infine il segnale viene digitalizzato da un comparatore a isteresi che elimina gli effetti del ritardo di correlazione e i falsi triggers dovuti al rumore, per poi venire deserializzato.

Il Protocollo di rete realizza le funzioni degli strati data-link e rete del modello ISO/OSI quali: la comunicazione bidirezionale in modalità half-duplex, le tipologie di rete peer-to-peer o master-slave, master multipli sulla rete plc, indirizzamento logico a 16bit per 65536 nodi plc, indirizzamento fisico a 64bit per 2^{64} nodi plc, indirizzamento individuale/a gruppi/broadcast, CSMA e pieno controllo sui parametri di trasmissione riconosciuti e non e a trasmissione ripetuta.

Il Protocollo definisce una struttura a pacchetto di un transceiver powerline, usata per trasferire dati tra i nodi della rete plc: sia la formazione dei pacchetti che la trasmissione vengono implementate all'interno del chip.

Il PsoC Core consiste in una serie di dispositivi programmabili, i quali includono sia blocchi digitali che analogici e interconnessioni anch'esse programmabili, in modo che l'utente può realizzare una configurazione che soddisfa i requisiti di ogni applicazione; in aggiunta sono inclusi una veloce CPU, una memoria flash, una memoria dati SRAM e I/Os configurabili.

Le risorse di sistema programmabili comprendono blocchi analogici con convertitori ADC/DAC e amplificatori/filtri/comparatori programmabili, e blocchi digitali con Timers, Counters, PWMs, Moduli PRS e CRC, 4 interfacce UART full duplex e interfacce seriali master/slave.

Invece le risorse aggiuntive riguardano I²C slave/master/multi-master, watchdog e sleep timers, low-voltage detection, digital clock dividers e MAC. [95]

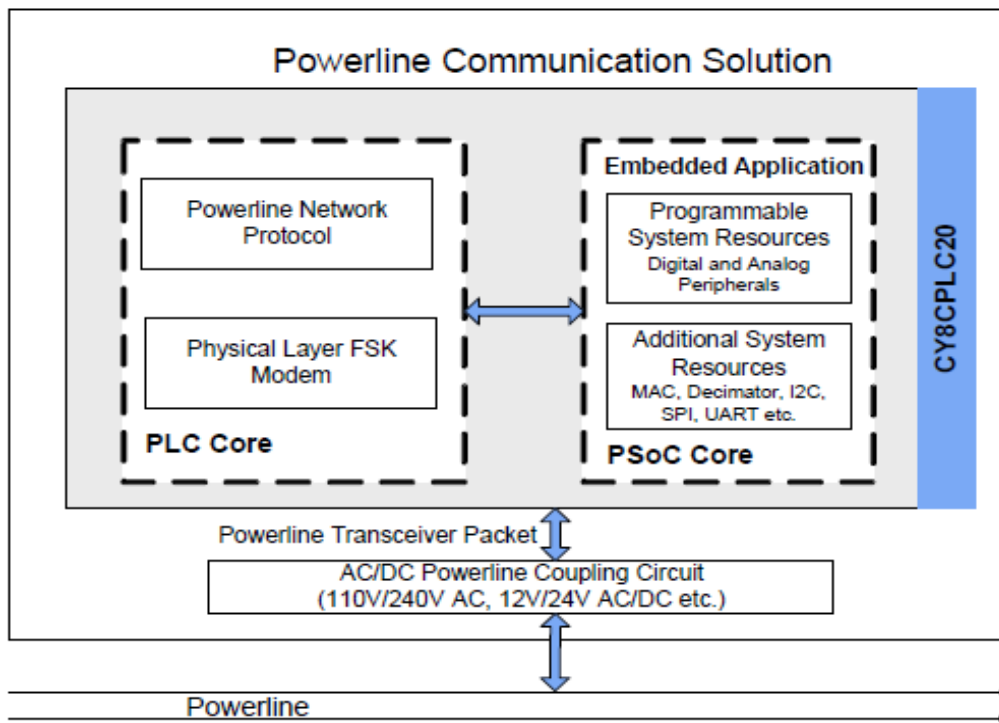


Figura 6.20: Schema a blocchi del CY8CPLC20 [95]

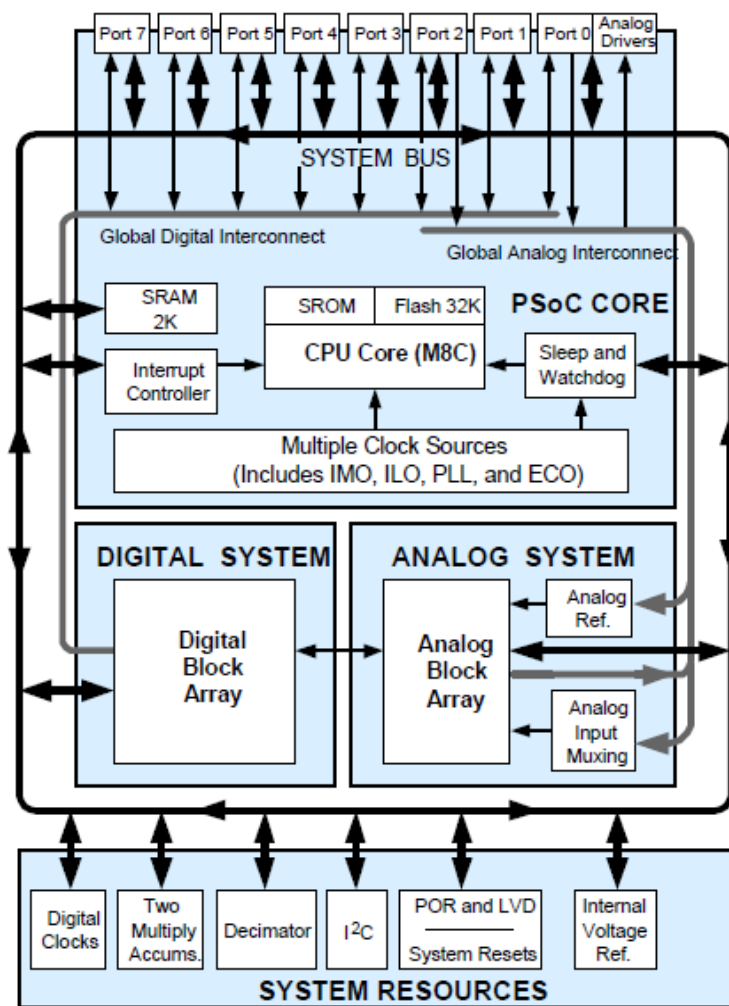


Figura 6.21: Schema a blocchi del PSoC Core [95]

6.3.4 Echelon

Lo Smart Server 2.0 di Echelon è un versatile controllore e gateway con web server integrato, in grado di gestire e connettere a software o stazioni di lavoro dispositivi per applicazioni basate sull'IP.

Gli ambiti di applicazione includono: il monitoraggio di inverter fotovoltaici, la gestione centralizzata di scuole, il controllo centralizzato di energia, il mantenimento di parametri climatici entro certi limiti e il controllo dell'illuminazione pubblica.

Il server è flessibile, facile da utilizzare e adatto sia per il controllo remoto che locale, inoltre consente di utilizzare i dati in modo intelligente per risparmiare energia, migliorare le operazioni e ridurre i costi.

Provvede alla connettività con driver integrati per i protocolli standard industriali includenti il LonWorks, l'IP-852, l'M-Bus, il Modbus RTU, il Modbus IP, I/O digitali, contatori di impulsi e servizi web SOAP/XML.

È in grado di gestire fino a 250 dispositivi come un gestore di rete standalone e supporta il rilevamento, la configurazione e la messa in servizio automatica di essi.

Costituisce una piattaforma aperta sia per il monitoraggio locale e il controllo, sia per l'integrazione con applicazioni per la gestione dell'energia di svariati impianti, inoltre include interfacce integrate web per la schedatura, il monitoraggio, la registrazione dei dati, la lettura del contatore e altre.

Il server ha un processore MIPS32 a 264MHz con memoria di RAM da 64 o 128MB e dispone delle interfacce: di programmazione(web con SOAP/XML, WSDL, LNS Remote Network Interface, HTTP/HTTPS) e di rete o per i dispositivi(10/100Base Ethernet per IP, TP/FT-10 twisted pair, PL20 powerline, Modbus RTU/TCP, M-Bus, Ethernet, RS-232, RS-485).

Oltre a ciò viene realizzato il routing IP-852, che consente di usare una rete IP come dorsale per una rete LonWorks, con il relativo canale che può raggiungere fino a 255 i.LON Smart Servers con IP-852, i.LON 600 Servers, IP-852 routers e LNS Turbo Edition Client e può supportare migliaia di pacchetti al secondo per alte performance.



Figura 6.22: Lo Smart Server 2.0 e gli Smart Transceivers di Echelon [96]

Tra gli Smart Transceivers invece si propone il PL3170, che è l'ultimo della famiglia ed integra un processore Neuron con un transceiver powerline.

Rispetta le normative di vari paesi: FCC USA, Industry Canada, Japan MPT e CENELEC EN50065-1, dove in quest'ultima lavora nella banda C con frequenze 132 e 155KHz e data-rate pari a 5,4kbps, ottenibile con la modulazione BPSK a frequenza bi-portante, la quale provvede a realizzare comunicazioni tramite una selezione di frequenze automatica.

Il cuore del processo del segnale digitale, con cancellazione di rumore e correzione della distorsione, supera gli impedimenti come il rumore impulsivo o la distorsione di fase.

Vengono utilizzati algoritmi per la correzione di errori avanzata FEC molto efficienti, mentre il controllo ciclico di ridondanza CRC provvede al rumore che può corrompere i pacchetti.

La modalità ISI(Interoperable Self-Installation) è un protocollo per lo strato di applicazione che consente ai dispositivi di installarsi automaticamente dopo aver premuto un bottone: vengono supportati 32 dispositivi per semplici reti, 200 per quelle con server aventi dominio di indirizzi.

Sono comprese un'interfaccia UART full duplex e una seriale, oltreché 12 pin I/O configurabili per operare in uno dei 38 modi standard predefiniti, ma per completare il tutto servono ancora il Power Supply, un circuito d'interfaccia e uno di accoppiamento.

[96]

6.3.5 Maxim Integrated

Il MAX2992 è un modem per comunicazioni powerline, che realizza una trasmissione dati asincrona di tipo half-duplex fino a 300kbps: opera su frequenze comprese tra 10 e 490KHz, rispetta le normative FCC, CENELEC e ARIB, utilizza il protocollo G3-PLC ma è anche conforme ai protocolli IEEE1901.2, ITU G.hnem/G9955 e IEC/CENELEC. Questo system on chip, che combina lo strato fisico PHY e il MAC, fa uso di un microcontrollore a 32-bit MAXQ30 e può essere completato col front-end analogico integrato MAX2991 e il firmware MAX2992 G3-PLC per formare un modem completo. Viene utilizzata la modulazione OFDM con DBPSK, DQPSK, D8PSK e FEC per garantire una comunicazione dati robusta, viene assicurata un'adattabilità ai canali selettivi in frequenza, robustezza in presenza di ritardi di gruppo e immunità al rumore impulsivo.

Per rispettare le normative è presente un meccanismo di tone notching programmabile, che permette il notching di certe bande di frequenza nello spettro del modem, inoltre questa funzione fornisce un metodo alternativo per disciplinare la coesistenza con altri trasmettitori in banda stretta come i sistemi plc basati sull'FSK.

Il MAC incorpora uno strato di adattamento 6LoWPAN per il supporto di pacchetti Ipv6, poi un avanzato CSMA/CA e l'ARQ col protocollo di routing supportano tutti i servizi del MAC layer per diverse tipologie di rete.

Sono inoltre presenti altri meccanismi di comunicazione intelligente per adattare il sistema alle condizioni di canale quali: la stima del canale, il tone mapping adattivo e i protocolli di routing, invece per la sicurezza e l'autenticazione si ricorre alla crittografia 128bit AES. [97]

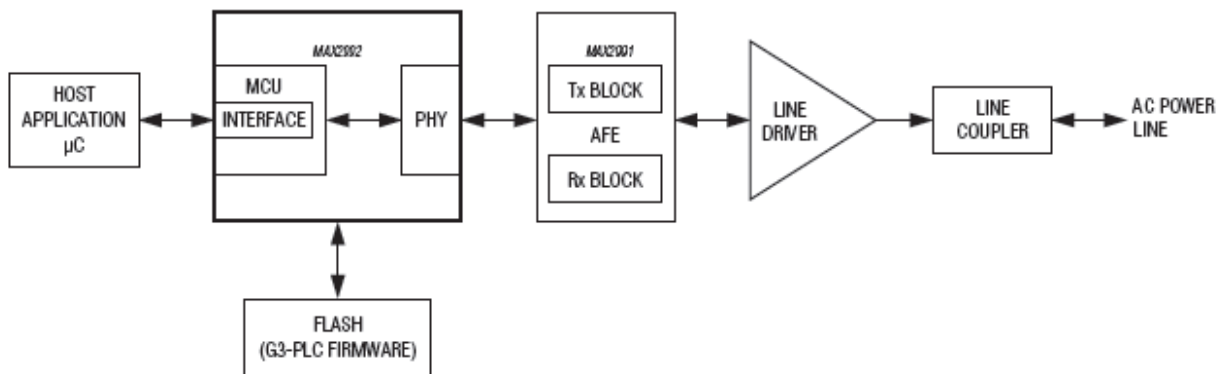


Figura 6.23: Schema a blocchi del transceiver basato sul MAX2992 [97]

6.3.6 Semitech Semiconductor

L'ultimo modem powerline per basse frequenze prodotto da questa società è l'SM2400, che combina un design ottimizzato con un alto livello di programmabilità, per affrontare molteplici sistemi di comunicazione e standard in evoluzione.

Estremamente flessibile, in grado di offrire elevate performance con la sua architettura dual core, è l'ideale per standard aperti o standard basati sull'OFDM.

È conforme agli standard G3-PLC, PRIME e IEEE1902.1, lavora in un range di frequenze compreso tra 5 e 500KHz nel rispetto delle norme CENELEC, FCC e ARIB, integra sia lo strato fisico che il MAC e può raggiungere una data-rate massima di 500kbps con le modulazioni BPSK, QPSK, 8PSK e 16-QAM.

Usa per la codifica l'algoritmo di Viterbi e i codici Reed-Solomon, impiega i FEC per la correzione di errori e dispone di un notching di frequenza programmabile per migliorare la coesistenza.

Il MAC incorpora uno strato di adattamento 6LoWPAN per il supporto di pacchetti Ipv6, oltreché all'IPv4, è disponibile una configurazione automatica del sistema basata sulle metriche del canale, infine sono inclusi i componenti per trattare il segnale(A/D, D/A, OpAmp's e PGA). [98]

6.3.7 ST Microelectronics

I transceivers ST7540 e ST7538 sono già impiegati in applicazioni di comando e controllo come i sistemi di lettura automatica del contatore su larga scala e l'automazione degli edifici, invece i nuovi prodotti ST7570, ST7580 e ST7590 fanno parte di una piattaforma che ha l'intento di soddisfare le esigenze delle smart grid.

Ognuno di questi offre: un' alta modularità e flessibilità per modulazioni e protocolli, un'alta integrazione e scalabilità, un'apertura verso standard aperti presenti e futuri e una facilità d'uso.

L'ST7590 è il primo system on chip powerline con OFDM costruito usando una tecnologia multi-potenza con la litografia CMOS stato dell'arte VLSI ed è basato su un'architettura dual core per garantire performance con un alto livello di flessibilità e programmabilità.

Ha un performante motore DSP con firmware incorporato che svolge: la modulazione OFDM con 97 sottoportanti nella banda A della norma CENELEC, le modulazioni BPSK, QPSK e 8PSK differenziali con data-rate fino a 128kbps, i codici convoluzionali e la decodifica di Viterbi, una stima della qualità del canale e dell'SNR e lo strato fisico conforme allo standard PRIME.

Oltre al DSP è presente un chip con protocollo 8051 programmabile con PRIME MAC e IEC 61334-4-32 data link, mentre sulle periferiche del chip si trovano: un'interfaccia UART/SPI per l'host, un'interfaccia di memoria dati I²C/SPI, un controller per una memoria esterna SRAM opzionale, un watchdog timer, 3 timers programmabili a 16bit e fino a 10 linee GPIO.

Completano il sistema un blocco specifico per la crittografia 128bit AES, un front-end analogico composto da ADC, DAC, ricevitori ad alta sensibilità e trasmettitori con controllo di guadagno intelligente, un power supply e un amplificatore di potenza single-ended per line driving, con sensore di temperatura incorporato e controllo di corrente. [99]

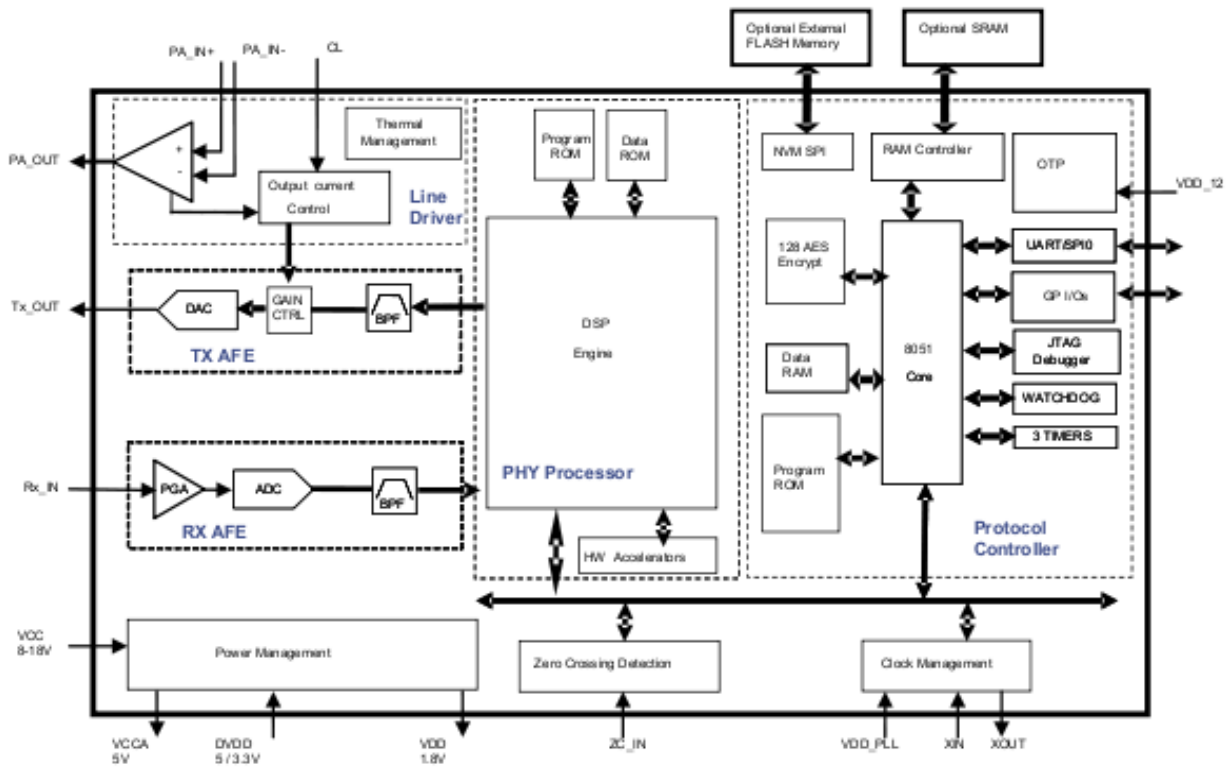


Figura 6.24. Schema a blocchi del SoC ST7590 [99]

6.3.8 Texas Instruments

Il C2000 TMDSPCKIT-V3 è un kit della Texas Instruments che consente un facile sviluppo di software basati sui modem powerline: sono inclusi due modem plc basati sul microcontrollore C2000 TMS320F28069, un front-end analogico e un software che supporta diverse tecniche di comunicazione incluse l'OFDM(PRIME/G3 e FlexOFDM) e la SFSK.

Il microcontrollore dispone di: una CPU a 32 bit e 90MHz molto efficiente, con cui può svolgere operazioni 16x16, 32x32 MAC, 16x16Dual MAC e altre, un CLA(Programmable Control Law Accelerator), memoria incorporata fino a 256KB flash, 100KB RAM e 2KB OTP ROM, 6 canali DMA, unità per il controllo ciclico di ridondanza e decodifica di Viterbi, unità per la crittografia 128bit AES, 3 timers CPU.

Sono inoltre presenti due interfacce UART, 2 interfacce seriali, diversi bus tra cui quello USB 2.0 e 54 pin GPIO programmabili. [100]



Figura 6.25: Il kit di sviluppo di Texas Instruments [100]

6.3.9 Tabella comparativa dei SoC/Transceivers

Marca	Prodotto	Standard	Velocità (kbps)	Banda	Interfacce	Crittografia/Codifica	Tipologia	Prezzo (Euro)
ADD	ADD1021	PRIME	128	CENEL EC A	2UART/ SPI	128bit AES,FEC Viterbi	system on chip	
ADD	ADD1010	EHS/KNX	4,8	CENEL EC A/B/C	3UART, 2SPI	CRC,FEC, Viterbi	system on chip	
Analog	ADE8165		0,8/2,4	CENEL EC A/B	UART		modem	11 Euro
Ariane Controls	PLM-1		30	50-500 KHz	Parallel, SPI	FEC,CRC 16	modem	
Cypress	CY8CPLC 10		2,4	CENEL EC C	4UART, SPI	CRC	system on chip	6-8 Euro
Cypress	CY8CPLC 20		2,4	CENEL EC C	4UART, SPI	CRC	system on chip	8-12 Euro
Echelon	Smart Server 2.0	for all layers ISO/OSI		CENEL EC C(plc)	ETH,RJ- 45,RS- 485,EIA- 232,RJ-11		controller /gateway/ server	577- 1000 Euro
Echelon	3120/3150		3,6	CENEL EC A/C	UART, SPI	FEC,CRC	transceiv er	10-11 Euro
Echelon	3170		5,4	CENEL EC C	UART, SPI	FEC,CRC	transceiv er	10-11 Euro
Infineon	UMF8110	G3-PLC PRIME,IE EE1901.2	576	9-490 KHz	UART, SPI,I ² C, GPIO	128bit AES,CRC ,Viterbi	modem	
Maxim	MAX2992	G3-PLC	300	10-490	2UART,	128bit	system	26-27

				KHz	2SPI	AES,FEC, CRC16, Viterbi	on chip	Euro+ AFE
Maxim	MAX2990		100	CENEL EC A/B/C	UART, SPI,I ² C	56-DES FEC, CRC32	system on chip	26-27 Euro+ AFE
ON Semicon.	AMIS 49587		2,4	CENEL EC A	UART		modem	6Euro
ON Semicon.	NCN 49597		4,8	CENEL EC A-D	UART		modem	6Euro
Semitech	SM2400	G3-PLC PRIME,IE EE1901.2	500	5-500 KHz	SPI	FEC, Viterbi	modem	
Semitech	SM2200		175	5-500 KHz	SPI	CRC	modem	10Euro
Semitech	SM6401	ANSI/EIA 709.1/2	5,4	CENEL EC A/B/C	UART, SPI	3DES, FEC	system on chip	
Semitech	SM8100		175	5-500 KHz	UART, RS232, RS485	CRC	module based on SM2200	
ST	ST7540	protocol independe nt	4,8	CENEL EC	UART/ SPI		transceiv er	6-10 Euro
ST	ST7570	IEC61334 -5-1 PHY +MAC	2,4	up to 148,5K Hz	UART		system on chip	7-10 Euro
ST	ST7580	protocol independe nt	28,8	up to 250KHz	UART	128bit AES	system on chip	7-10 Euro
ST	ST7590	PRIME PHY+MA C+DLL	128	CENEL EC A	UART/ SPI	128bit AES	system on chip	9-13 Euro
Texas Instrume nts	C2000 TMDSP LCKIT-V3	PRIME, G3-PLC		up to 500KHz	2UART, 2SPI	128bit AES, CRC	develop ment kit	600 Euro
Ytran	IT700IC		2,5-7,5	CENEL EC A/B	UART, SPI,I ² C	128bit AES, CRC16	system on chip	
Ytran	IT900		500	CENEL EC A/B	UART, SPI,I ² C	CRC16	system on chip	

Figura 6.26: Tabella comparativa dei SoC/Transceivers [93-100]

Capitolo 7 Lo sviluppo delle PLC

Fino a questo punto sono stati descritti i progressi compiuti dalle plc nel corso degli anni sotto vari aspetti che comprendono: le tecniche di trasmissione, la risoluzione dei problemi di comunicazione come il rumore o l'attenuazione e la determinazione di standard.

Si può sostenere che rispetto alle origini sono stati apportati grandi miglioramenti, ma risulta interessante cercare di capire come potrebbe svilupparsi la tecnologia powerline nel prossimo futuro e se potrà riscontrare successo nel mercato delle telecomunicazioni.

Per fare ciò si sono innanzitutto prese in considerazione le aree geografiche del mondo che potrebbero essere maggiormente interessate, poi si è cercato di capire quali potrebbero essere i servizi e quindi le fasce di mercato che potrebbero portare ad avere il più vasto potenziale numero di clienti.

Infine si è effettuato un confronto con le tecnologie già affermate, per capire quali di queste potrebbero entrare in concorrenza con le plc e in tal caso se possano offrire condizioni migliori.

7.1 Lo sviluppo nelle aree geografiche del mondo

Lo sviluppo delle powerline può avvenire in ogni continente, ma è previsto un maggiore successo nelle aree del mondo dove la tecnologie concorrenti non sono largamente presenti e dove le reti di comunicazione tradizionali coprono solo una minima parte del paese.

Il maggiore interesse dunque è rivolto ai paesi in via di sviluppo, in cui comunque è presente la rete elettrica nella maggior parte delle abitazioni, dove l'aumento della richiesta di banda larga porterebbe ad avere molti clienti e dove non ci sono concorrenti forti.

Tra l'altro si potrebbe contribuire a migliorare le condizioni di questi paesi aiutandoli ad avvicinarsi a quelli più sviluppati e a ridurre il divario tecnologico(digital divide).

7.1.1 Centro e Sud America

La grande opportunità offerta dalla tecnologia plc consiste nel poter essere utilizzata senza la necessità di dover compiere grandi investimenti nelle infrastrutture per il supporto dell'accesso ad internet a banda larga.

In Centro e Sud America vien preso come modello il Brasile, in cui uno dei principali aspetti è che la copertura della rete elettrica nelle case arriva al 95% ma il progetto del governo "Luza para todos" conta di raggiungere il 99% delle abitazioni.

L'altro importante fattore che rende attraente la tecnologia è la crescita della domanda di servizi a banda larga che solo in Brasile è arrivata al 40% nel 2006, totalizzando 1.6 milioni di nuove connessioni.[101]

7.1.2 Europa orientale

Nell'Europa dell'Est la possibilità di distribuzione delle plc è considerata favorevole in alcune regioni.

In certi paesi non c'è un'elevata richiesta di servizi a banda larga e connessioni ad internet veloci, mentre in altri si stanno facendo degli investimenti per cercare di raggiungere il livello dei paesi occidentali.

L'espansione dell'Unione Europea verso est incrementerà questa necessità e probabilmente a causa della natura ex-comunista di certi paesi i governi locali stanno dedicando una particolare attenzione alla fornitura di infrastrutture nelle aree rurali.

In questo contesto la tecnologia plc può essere di grande interesse, soprattutto considerando la scarsa disponibilità di fondi degli amministratori locali e i bassi prezzi che i cittadini sono soliti pagare.

Mentre le aree urbane dell'Europa orientale dispongono di buone infrastrutture di telecomunicazioni, finanziate in parte dall'UE e in parte da fondi pubblici, le aree rurali invece non ne hanno di adeguate.

Un possibile ostacolo invece potrebbe essere la condizione antiquata della rete elettrica, che potrebbe comportare ulteriori investimenti per modernizzarla.[101]

7.1.3 Africa

Anche in Africa la tecnologia plc detiene un grande potenziale per lo sviluppo delle telecomunicazioni e della banda larga, che utilizzando la rete elettrica può sviluppare il settore dell'ICT in vari modi.

Innanzitutto si possono raggiungere aree senza infrastrutture fisse e portare internet e la telefonia anche in zone remote; in quest'ambito è molto probabile che le plc sia usate in abbinamento ad altre piattaforme come la wireless fissa o la banda larga via satellite.

In secondo luogo potrebbe portare operatori alternativi con un concetto di connessione dell'utente finale più indipendente, offrendo un'alternativa alla rete in rame.

Ciò contribuirà a sviluppare una competizione nelle infrastrutture che porterà ad una maggiore innovazione, prezzi più bassi e alti livelli di penetrazione della tecnologia.

In terzo luogo le plc potrebbero aiutare gli operatori a distribuire la connettività dell'ultimo miglio tramite la wireless fissa o la fibra ottica all'interno dei grattacieli: gli operatori potrebbero usare parte della rete esistente invece di sviluppare nuove e costose strutture di cablaggio.[101]

7.1.4 Asia

In Asia fino al 2006 le plc venivano impiegate principalmente per applicazioni di controllo industriale come l'AMR ed esperimenti per la costruzione di reti di comunicazione nel local loop, ma con la crescita del mercato dell'home network e l'aumento dell'esigenza di un multi networking indoor (triple play, smart applications), le plc sono state considerate come una nuova alternativa.

Nei maggiori paesi come la Cina, il Giappone, la Corea e l'India è iniziata un'intensa attività di ricerca, che ha portato anche i paesi più piccoli come la Malesia e Singapore a seguire l'esempio dei primi.

Il CEO di Xeline Dr. Gi-Won Lee ha sostenuto che “è imperativo avere una rete di comunicazione indoor per servizi come IP TV e Home Network” e che le plc “trionferanno sulle soluzioni wireless nelle aree dove velocità, realizzabilità e prezzo dei prodotti caleranno con l'aumentare della domanda”.

Techno Research Group in Giappone ha stimato il potenziale delle plc per l'Home Market in 132 milioni di unità per il 2010, mentre il mercato dell'accesso ha un ruolo più ridotto. [101]

7.2 Lo sviluppo nelle aree di mercato

Il mercato delle plc si può suddividere sostanzialmente in tre aree:

- ▲ Servizi in ambito energetico: gestione del carico, lettura del contatore, etc;
- ▲ Servizi di telecomunicazioni: accesso ad internet nell'ultimo miglio, voce e altri;
- ▲ Servizi all'interno dell'abitazione(in-home): home automation, home networking.

Il potenziale maggiore viene riscontrato nell'accesso ad internet nell'ultimo miglio e nei servizi in-home, invece i servizi energetici comportano benefici per le compagnie.[4]

7.2.1 Servizi in ambito energetico

I vantaggi riguardano una notevole riduzione di costi e aspetti di fedeltà del cliente, inoltre in combinazione con lo sviluppo delle fuel-cell verrebbe cambiato in modo decisivo il ruolo e il concetto di business degli attuali fornitori di energia.

Altri benefici per le compagnie provengono dalla gestione del carico, in riferimento al cambiamento della gestione dell'energia che è sempre stata organizzata in modo centralizzato mentre ora si sta orientando verso una decentralizzazione nella produzione e nella distribuzione.

Il sistema decentralizzando effettua un calcolo di controllo del carico, che determina e comunica ad un dispositivo i tempi di accensione/spegnimento: ciò comporta prezzi dinamici e dispositivi intelligenti, il cui utilizzo dell'energia viene ottimizzato grazie al controllo remoto.

Un esempio è una riduzione dei picchi in determinati momenti della giornata grazie ad un sistema di tariffazione intelligente orientato alla riduzione degli sprechi, all'eliminazione degli effetti dannosi per l'ambiente e ad un utilizzo delle risorse ottimale.

Questi servizi sono interessanti per le compagnie energetiche, in quanto è stata stimata in media una riduzione di costi tra il 10 e il 20 % e per i clienti commerciali che hanno depositi di stoccaggio ad alto consumo energetico, ma non possono costituire la forza trainante della tecnologia plc, in quanto i clienti sono poco propensi a pagare per servizi di questo tipo.[4]

7.2.2 Servizi di telecomunicazioni

Per quanto riguarda invece i servizi di telecomunicazioni come l'accesso ad internet è previsto un maggior successo, dal momento che negli ultimi anni il numero delle persone nel mondo che usano internet è in costante aumento, in particolare il numero dei sottoscrittori della banda larga.

Questo aumento di richiesta ha fatto sorgere una molteplicità di applicazioni a banda larga quali: streaming audio/video, internet telephony, interactive gaming, internet connection sharing, interactive entertainment e e-commerce.

Prendendo in considerazione il totale della popolazione, che ha raggiunto i 7 miliardi di persone circa, l'ITU ha stimato dal 2006 al 2011 un aumento della percentuale di persone che usano internet dal 18 al 35% del totale che è così suddiviso: dal 10 al 13% nei paesi sviluppati e dall'8 al 22% in quelli in via di sviluppo, mentre il numero di persone che non usano internet è sceso dal 82 al 65%.

Considerando invece il numero di utenti internet per continente si nota che si ha avuto un incremento in ognuno di essi: in Europa si è raggiunto il valore più alto (dal 50 al 74%), ma si è avuta una notevole crescita soprattutto nei paesi in via di sviluppo, ad es. nei paesi arabi si è passati dall'11 al 29% e in Asia dall'11 al 27% che è circa il triplo.[102]

<u>Internet users</u>			<u>Internet users by region</u>		
	2006	2011 ^a		2006 ^b	2011 ^{a,b}
World population	6.5 billion	7 billion	Africa	3%	13%
Not using the Internet	82%	65%	Americas	39%	56%
Using the Internet	18%	35%	Arab States	11%	29%
Users in the developing world^b	8%	22%	Asia and Pacific	11%	27%
Users in the developed world^b	10%	13%	Commonwealth of Independent States	13%	48%
Users in China^b	2%	8%	Europe	50%	74%

^a Estimate. ^b Share of world population.
Source: [International Telecommunications Union](#)

^a Estimate. ^b Share of regional population.
Source: [International Telecommunications Union](#)

Figura 7.1: Utenti internet nel mondo e per continente [102]

Nella carta seguente viene mostrata la percentuale di utenti internet per ogni paese:

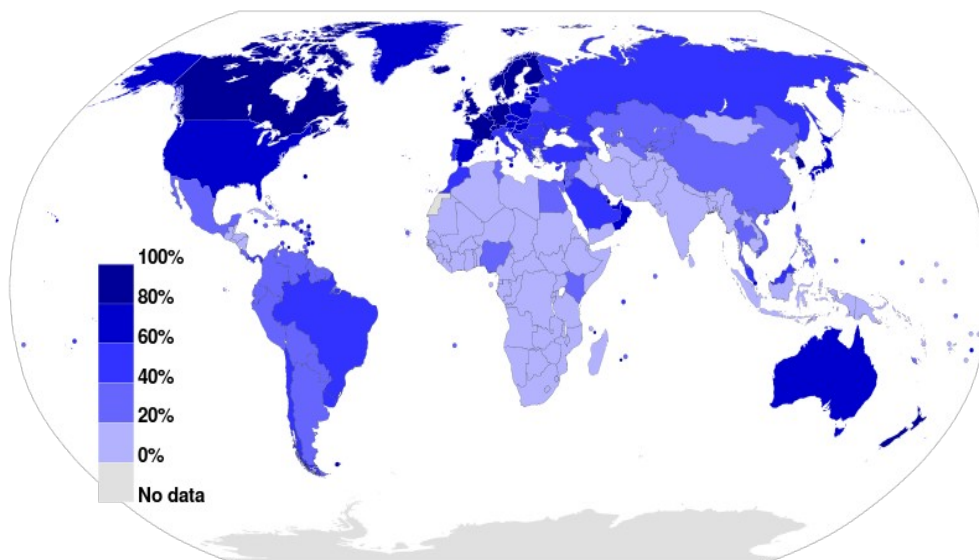


Figura 7.2: % di utenti internet in rapporto alla popolazione di ogni paese [102]

Per quanto riguarda il numero di sottoscrittori di banda larga, l'ITU ha stimato un aumento dal 2007 al 2011 dal 5,3 all'8,5% per la connessione fissa e dal 4 al 17% per la connessione mobile.[102]

<u>Broadband subscriptions</u>			<u>Broadband subscriptions by region</u>		
	2007 ^a	2011 ^{a,b}	Fixed subscriptions:	2007 ^a	2011 ^{a,b}
World population	6.6 billion	7.0 billion	Africa	0.1%	0.2%
Fixed subscriptions	5.3%	8.5%	Americas	11.0%	15.5%
Developing world	2.3%	4.8%	Arab States	0.9%	2.2%
Developed world	18.3%	25.7%	Asia and Pacific	3.3%	6.2%
Mobile subscriptions	4.0%	17.0%	Commonwealth of		
Developing world	0.8%	8.5%	Independent States	2.3%	9.6%
Developed world	18.5%	56.5%	Europe	18.4%	25.8%
			Mobile subscriptions:	2007^a	2011^{a,b}
			Africa	0.2%	3.8%
			Americas	6.4%	30.5%
			Arab States	0.8%	13.3%
			Asia and Pacific	3.1%	10.7%
			Commonwealth of		
			Independent States	0.2%	14.9%
			Europe	14.7%	54.1%

^a Share of regional population. Estimate.
Source: [International Telecommunications Union](#)

^b Share of regional population. Estimate.
Source: [International Telecommunications Union](#)

Figura 7.3: Sottoscrittori di banda larga nel mondo e per continente [102]

Anche in questo caso i paesi più sviluppati raggiungono percentuali maggiori, ma in proporzione c'è stato un maggiore aumento nei paesi in via di sviluppo.

In generale è stato stimato che il potenziale valore percentuale delle plc nel mercato dell'accesso ad internet potrebbe collocarsi tra l'11 e il 15%, con valori tra il 20 e il 30% in alcune zone.

Per quanto riguarda le aree ci sono alcune divergenze di opinioni, ma indipendentemente dallo scenario sarà molto importante l'aspetto economico dell'offerta che verrà proposta dagli operatori, infatti chi utilizza già altre tecnologie come l'ADSL con una spesa tra 25 e 50 Euro mensili per internet e telefonia non sarà disposto a cambiare se la spesa sarà molto più alta.

Non basta che la tecnologia sia sviluppata ma occorre anche proporre prezzi competitivi, comunque si è visto tra i vari esperimenti condotti nel mondo che in molti casi si è arrivati a proporre offerte simili in termini di servizi e prezzi a quelle ADSL, ad esempio quelle in Germania.

La Deutsche Bank ha concluso che si potrebbe raggiungere il 15% del mercato con un offerta dal costo contenuto entro 50 Euro in Europa e parte dell'Asia, dove in una rete in bassa tensione costituita da 250 utenti si potrebbe ottenere il consenso di 35 di essi.[4]

7.2.3 Servizi in-home

Infine l'ultimo settore riguarda le applicazioni in-home, dove troviamo l'home automation in cui si è già avuto un buono sviluppo e l'home networking, con la creazione di LAN in ambienti domestici e commerciali, che offre un elevato potenziale.

Nel tipo di realizzazioni domestiche si hanno i maggiori vantaggi inerenti all'utilizzo di un mezzo trasmissivo già disponibile, infatti il budget di una famiglia è inferiore a quello di un'attività commerciale, oltre a ciò i sistemi non sono invasivi per le strutture degli edifici e gli investimenti fatti non sono vincolati all'edificio ma trasferibili all'impianto di un'altra abitazione.

Le ragioni per creare una LAN domestica sono diverse e sono riportate nella figura seguente con le relative percentuali:

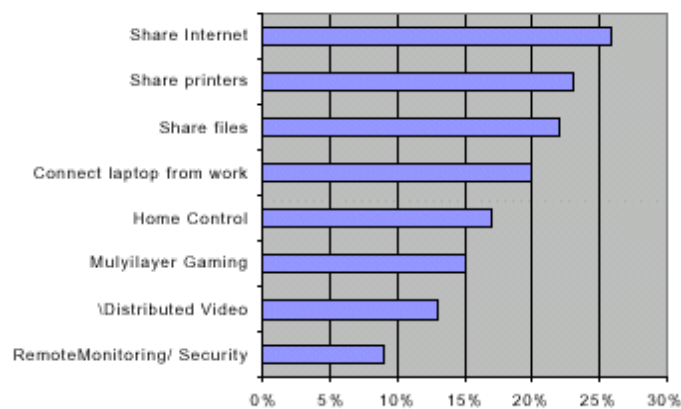


Figura 7.4: Ragioni per realizzare una LAN [4]

In conclusione di questa parte dunque si può ritenere che il potenziale maggiore sia offerto dall'accesso ad internet nell'ultimo miglio e dalla realizzazione di LAN domestiche ; il mercato dell'home automation è interessante ma non può raggiungere il numero di potenziali clienti offerto dalle applicazioni a banda larga, mentre quello dei servizi energetici può offrire vantaggi più che altro alle compagnie che ai clienti.[4]

7.3 Confronto con le altre tecnologie

I nuovi servizi che si possono avere grazie alla banda larga richiedono una larghezza di banda per l'utente finale che in media si colloca tra i 15 e i 20Mbps.

Ci sono diverse tecnologie che possono garantire queste capacità, in dipendenza da vari fattori e ognuna con le sue peculiarità e i suoi limiti.

Prima verrà fatto un confronto tra le tecnologie considerando le caratteristiche principali come ad es. la bit-rate e la copertura, poi verrà riportata una tabella comparativa per poter effettuare un confronto complessivo.

Infine grazie all'integrabilità delle plc con le altre tecnologie verranno proposte alcune soluzioni combinate. Intanto si può effettuare una prima classificazione tra:

- ▲ Tecnologie a linea fissa: hybrid fiber coax(HFC), digital subscriber line(xDSL), fiber to the home/curb(FTTH/FTTC), powerline(plc);
- ▲ Tecnologie wireless: microwave links, multichannel multipoint distribution service(MMDS), local multipoint distribution service(LMDS), free space optics(FSO), Wireless Fidelity(WiFi), Worldwide Interoperability for microwave access(WiMAX), satellite, mobile phone networks(2G-3G).[101]

7.3.1 Confronto per caratteristiche

Il primo aspetto che viene preso in considerazione è la copertura in funzione della bit-rate per le varie tecnologie d'accesso, che viene rappresentata nel grafico seguente.

Gli attuali dispositivi plc offrono un throughput medio di 200Mbps, ma nel segmento d'accesso la capacità viene condivisa con gli altri utenti, mentre all'interno dell'abitazione può essere interamente utilizzata per un certo servizio.

Le WLAN raggiungono bit-rate di 54Mbps ma con l'implementazione dei sistemi MIMO(Multiple Input Multiple Output) nei terminali la capacità viene raddoppiata.

Il grafico mostra che all'aumentare della capacità viene ridotta l'area di copertura: con le reti mobili 3G e il satellite si ha una bit-rate più limitata ma si ha una copertura globale, le altre tecnologie(l'ADSL, l'HFC, la fibra ottica, le plc e il WiMAX) offrono bit-rate superiori ma raggiungono al massimo una copertura a livello urbano.

L'ADSL arriva a 5,4Km con 1,5Mbps, la VDSL a 1,3Km con 13Mbps, le plc a 3Km con 2-4Mbps, l'HFC anche fino a 100Km con gli amplificatori con un massimo di 6-8Mbps, l'FTTH a 20Km con 1Gbps per canale, mentre il WiMAX a 50Km con 70Mbps.

Quest'ultima soluzione sembra essere la migliore sia in termini di distanza che di velocità, con la fibra si otterrebbe la velocità più alta in assoluto ma è difficile da realizzare mentre le altre tecnologie hanno prestazioni comparabili, dunque in questo ambito le plc hanno diversi concorrenti ma con prestazioni simili.

All'interno dell'abitazione invece l'ADSL ha una copertura di 300m con 12Mbps, la VDSL e l'ADSL2+ arrivano sempre a 300m con 52 e 26Mbps, col WiFi si arriva a 100m con 54Mbps, mentre con le plc a 300m con 200/500Mbps.

In questo caso la copertura è simile, infatti non si superano i 300m, ma le plc offrono una velocità massima raggiungibile superiore alle altre tecnologie.[101]

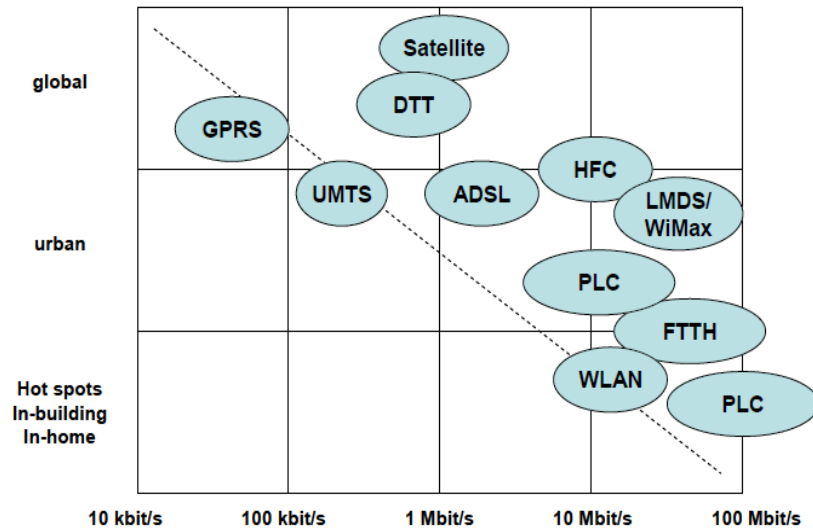


Figura 7.5: Copertura in rapporto alla bit-rate delle tecnologie d'accesso [101]

Nel seguente confronto invece vengono valutate le reti powerline, le wireless e le fibre ottiche in termini di copertura, accessibilità e banda.

Per la copertura le plc e le reti wireless offrono prestazioni simili, con un range maggiore rispetto alle fibre ottiche.

Per l'accessibilità si ha lo stesso comportamento con le wireless che raggiungono livelli di poco superiori, mentre per la banda il miglior risultato è garantito dalle fibre ottiche che superano di poco le powerline, con le wireless distanziate.

Bisogna oltretutto precisare che nella connessione wireless la banda dipende da una serie di fattori come la distanza dal punto di accesso e l'interferenza.

Nel complesso le plc offrono una combinazione ottimale di tutti i parametri che, in questo ambito, le rendono migliori rispetto alle altre due tecnologie.[101]

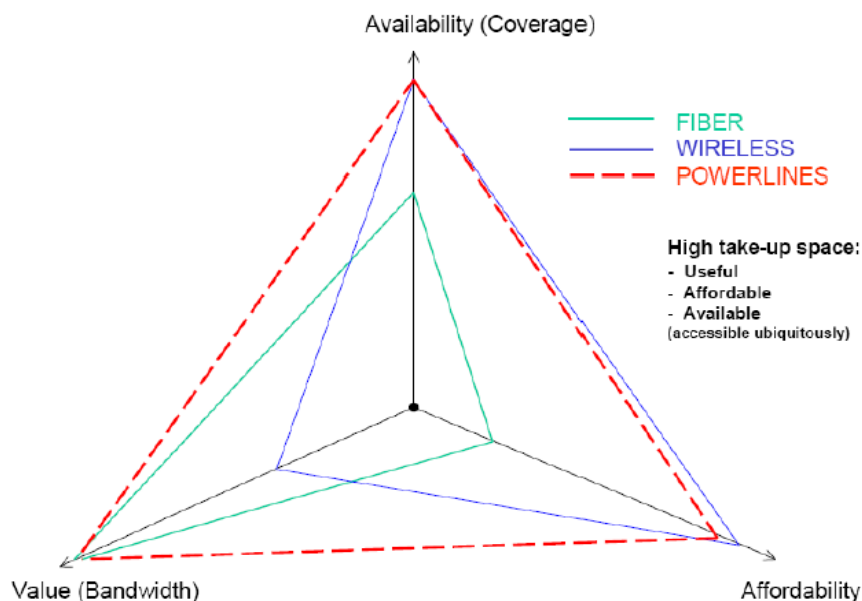


Figura 7.6: Confronto plc/wireless/fibre per copertura, accessibilità e banda [101]

Il grafico seguente mostra l'andamento della spesa di capitale necessaria per realizzare le varie tecnologie in funzione della percentuale di penetrazione nel mercato.

Per ognuna, all'aumentare della penetrazione si ha una riduzione della spesa, ma si può chiaramente vedere come il risultato migliore sia offerto dalle plc, per il fatto di utilizzare la rete elettrica già disponibile senza ulteriori costi di cablaggio.

L'ADSL è la tecnologia che più si avvicina alle plc mentre le altre comportano costi molto maggiori.

Bisogna specificare che il grafico si riferisce all'anno 2005 in cui le altre tecnologie avevano già raggiunto un certo livello di maturità rispetto alle plc e non erano ancora stati sviluppati degli standard adeguati per la banda larga.

Ora invece disponendo dei vari standard HomePlug e dell'IEEE1901 e considerando che a breve termine si potrebbe anche arrivare all'approvazione della normativa che regola il funzionamento alle alte frequenze (prEN50561-1), la riduzione dei costi per le plc potrebbe migliorare ancora. [101]

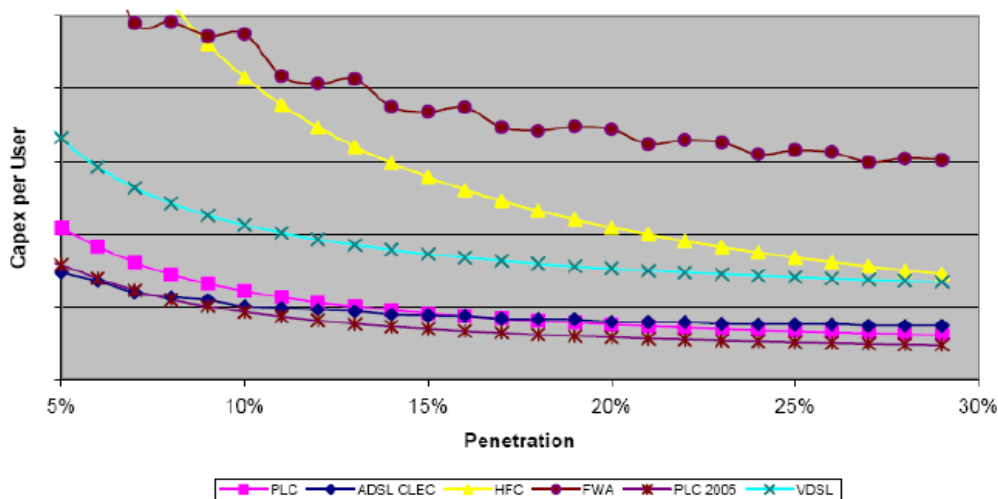


Figura 7.7: Spesa di capitale in funzione della % di penetrazione di mercato per le varie tecnologie [101]

Per quanto riguarda le spese operative, cioè le spese di manutenzione della rete si ottiene un grafico simile al precedente, dove ancora una volta le plc garantiscono la spesa inferiore.

È anche possibile fare una valutazione di quali siano le tecnologie più adeguate per le specifiche fasce di mercato (residenziale, SOHO, SME, aziendale): ciò viene mostrato nella tabella seguente.

Il bilancio della capacità offerta in funzione dei costi di realizzazione e dei tempi stima le tecnologie che usano un'infrastruttura esistente (xDSL e plc) molto competitive nel mercato urbano e suburbano.

Le tecnologie HFC e FWA saranno le prime a perdere una parte del mercato in favore delle fibre FTTB, quando queste acquisiranno rilievo dapprima nelle piccole imprese e poi nel mercato residenziale.

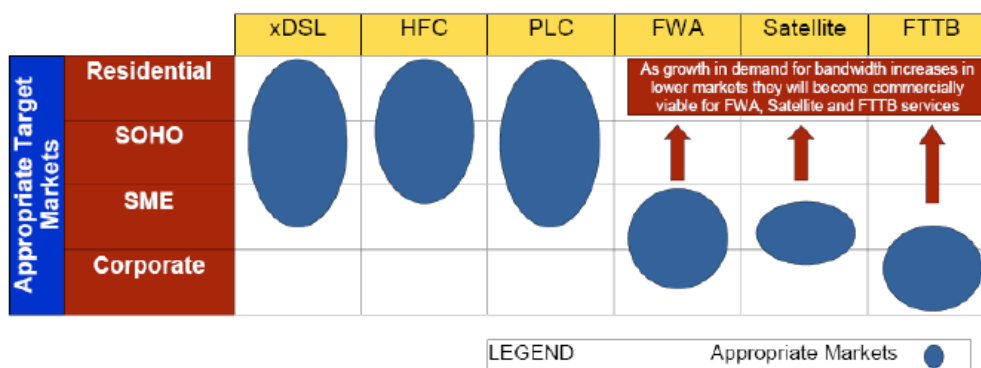


Figura 7.8: Segmenti di mercato appropriati per le varie tecnologie [101]

La figura seguente invece mostra i segmenti di mercato idonei dove le diverse tecnologie d'accesso possono operare: è probabile che ognuna rimanga competitiva nel segmento di nicchia identificato.

In ambito urbano FWA, HFC e FTTB sono più appropriate per l'accesso, ma per la combinazione dell'accesso con la distribuzione in-home le plc risultano la soluzione più adeguata, oppure in combinazione con un'altra tecnologia.

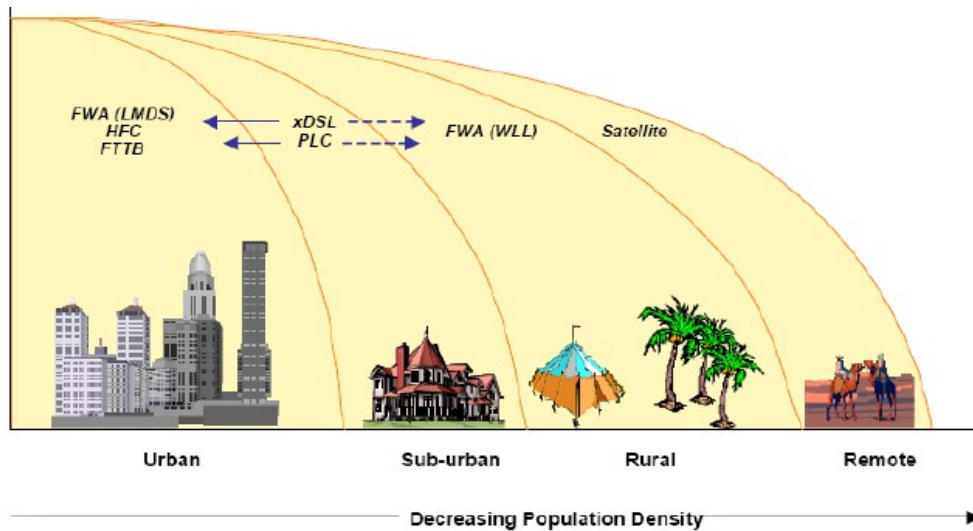


Figura 7.9: Segmenti di mercato appropriati in funzione della densità di popolazione [101]

Nella distribuzione in-home le plc costituiscono una tecnologia ottimale per disporre di servizi in ogni punto della casa senza installare nuovi cavi, dunque rappresentano la soluzione migliore per estendere l'accesso ad ogni altro punto della casa (in genere il numero di prese varia da 10 a 40).

Nelle figure successive viene mostrata una comparazione delle installazioni di infrastrutture tra il cavo telefonico, il cavo CAT-5, le WLAN e le plc. [101]

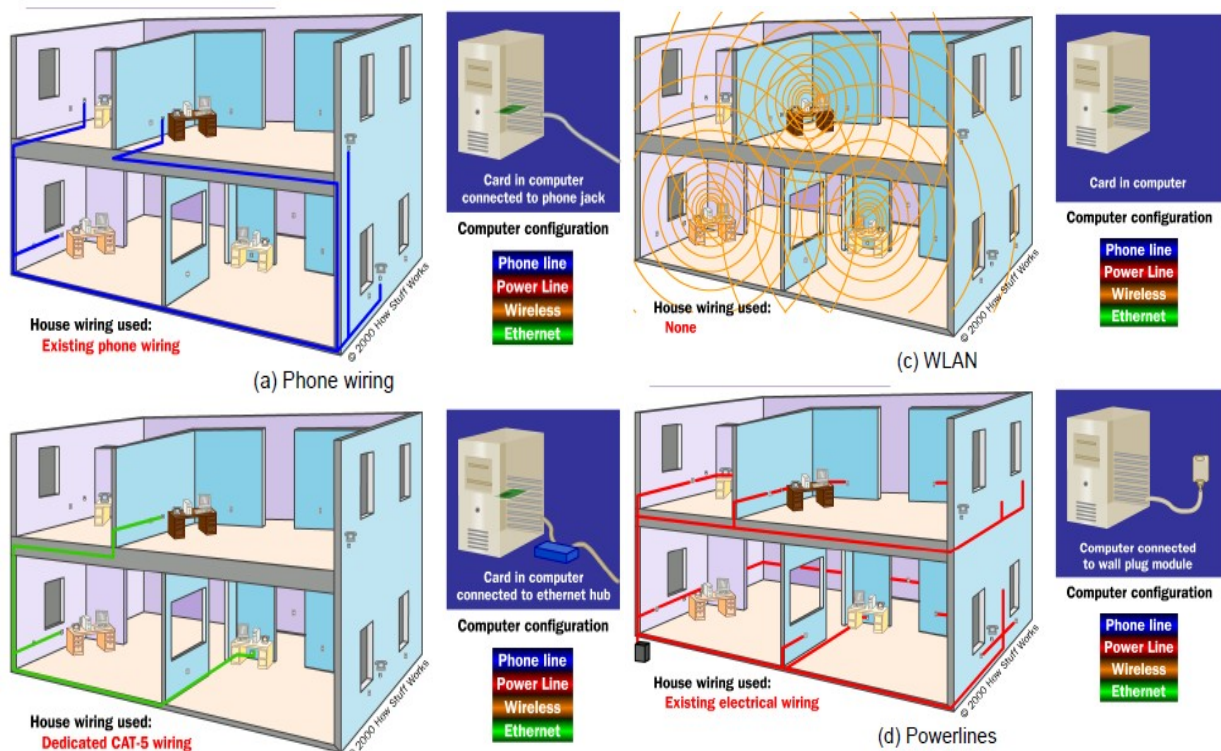


Figura 7.10: Installazione di infrastrutture per diverse tecnologie in-home [101]

Dai confronti fatti risulta che sotto tutti gli aspetti considerati le plc offrono prestazioni almeno comparabili con le altre tecnologie e in alcuni casi anche superiori, dunque la presenza di tecnologie già affermate non dovrebbe costituire un ostacolo che possa impedire lo sviluppo delle powerline sul mercato.

Di seguito si riporta una tabella comparativa dove per ogni tecnologia (sia fissa che wireless) sono indicate tutte le principali caratteristiche:

Technology	Simplicity of deployment	Spectrum Usage	Capacity Shared?	Symmetry	Capacity	Max Range	Strengths	Weaknesses
FIXED/WIRED LINE								
HFC	Easy if a cable TV network already exists. Expensive if it is necessary to deploy the network	5-1000 MHz, 6-8 MHz/channel	Yes	Asymmetric.	USA: 3 - 4 Mbps Canada: up to 10 Mbps UK: 1 - 8 Mbps France: up to 100 Mbps Switzerland: up to 6 Mbps	Up to 100 km using amplifiers	Uses existing cable TV networks	Limited bandwidth and asymmetric
ADSL	Easy where it can be used the existing POTS	Up to 1.1 MHz	No	Asymmetric.	From 1,5 Mbps (5.4 km) to 12 Mbps (300 m)	Up to 5.4 km	Uses existing POTS	Distance sensitive, asymmetric and distance sensitive
VDSL	Easy where it can be used the existing POTS	Up to 1.1 MHz	No	Asymmetric	From 13 Mbps (1.3 km) to 52 Mbps (300 m)	Up to 1.3 km	Mainly uses existing POTS	Bandwidth is very distance sensitive. Requires fiber feeds
ADSL2+	Easy where it can be used the existing POTS	Up to 2.2 MHz	No	Asymmetric	From 7.5 Mbps (2.7 km) to 26 Mbps (300 m)	Up to 2.7 km	Uses existing POTS	Bandwidth is distance sensitive
PLC	Easy. No new wiring needs.	1-30 MHz	Yes	Symmetric	200 Mbps shared medium 2 - 4 Mbps per user	Up to 3 km in Medium Voltage Up to 200 m in Low Voltage	Uses existing power grid	No standards available
FTTH	Difficult. Requires new fibre access network overlay	T Hz	PON: Yes P2P: No	Symmetric	Up to 1 Gbps per channel per fibre	20 km	Very high bandwidth	Expensive deployment of the network

Figura 7.11: Tabella comparativa delle tecnologie fisse [101]

Technology	Simplicity of deployment	Spectrum Usage	Capacity Shared?	Symmetry	Capacity	Max Range	Strengths	Weaknesses
WIRELESS								
Microwave	Difficult. LOS needed	2, 4, 6, 21.3–23.6 GHz > 40 GHz UHF(Licensed)	Yes	Symmetric	Up to 155 Mbps per Link	5 km	Quick setup	LOS Point to Point
LMDS	Difficult. LOS needed	28 – 31 GHz (Licensed)	Yes	Symmetric	Up to 155 Mbps per Link	4 km	Point to multipoint Large capacity	LOS Not standardized
MMDS	Difficult. LOS needed	2.1 – 2.7 GHz (Licensed)	Yes	Symmetric	Up to 10 Mbps per BE	100 km	Point to multipoint NLOS and long range	Low capacity Not standardized
FSO	Difficult. LOS needed	Infra-red THz region of RF spectrum (Unlicensed)	Yes	Symmetric	Up to 2.5 Gbps per link	4 km	Low setup cost Unlicensed spectrum	LOS Performance is weather sensitive
WIFI	Easy for LAN environment	2.4, 5.7 GHz (Unlicensed ISM bands ISM: Industry, Scientific and Medical)	Yes	Symmetric	Depending on standard: 2, 11, 54 Mbps	100 m	Ethernet compliant. Standardize.	For LAN applications only Security
WIMAX	Easy. NLOS needed.	2 to 11 GHz (licensed) 10 to 66 GHz (unlicensed)	Yes	Symmetric	Up to 70 Mbps	Up to 50 km	NLOS to be standardized	Practical bitrate 2 Mbps NLOS limited to 1 – 2 km
Satellite	Easy but expensive	Ku-, Ka-, C-, L and S-band 1.5–3.5, 3.7–6.4, 11.7–12.7, 17.3–17.8, 20–30 GHz(Licensed)	Yes	Asymmetric	Up to 155 Mbps downlink	1000 - 36,000 km	Large coverage Suitable for multi cast applications	Expensive to build Limited capacity per subscriber
3G	Easy.	1.92 – 1.98 GHz 2.11 – 2.17GHz	Yes	Symmetric	Up to 2 Mbps per mobile	Mobile Coverage area	Mobile terminals Ride on existing cellular infrastructure	Costly spectrum Limited applications

Figura 7.12: Tabella comparativa delle tecnologie wireless [101]

7.3.2 Integrazione tra le plc e le altre tecnologie

Uno dei vantaggi delle plc è che non solo si possono impiegare singolarmente ma si possono anche integrare con le altre tecnologie.

Di seguito vengono proposte alcune soluzioni in abbinamento alle tecnologie: WiMAX, xDSL, satellite e UMTS con la descrizione dei vantaggi offerti.

▲ PLC+WiMAX

Con la tecnologia WiMAX si considera un primo scenario in cui questa viene utilizzata come backhaul, portando una connessione veloce nella modalità punto-multipunto.

Un punto di accesso WiMAX connette diverse stazioni di una regione fungendo da backhaul per l'estensione plc MV/LV e la disposizione di dati.

La connessione backhaul viene inviata tramite fibra all'ufficio centrale ISP, viene estesa dalla rete a fibra e resa disponibile alla rete plc mediante collegamenti punto-multipunto WiMAX alle sottostazioni HV/MV, poi da quel punto i dati vengono inseriti nella rete MV/LV e spediti all'utente finale in vari modi.

I vantaggi sono: un miglioramento delle prestazioni fisiche degli edifici, una riduzione delle frequenze necessarie per le plc e la possibilità di coprire alti edifici con soluzioni multiple per l'ultimo miglio.

Nel secondo scenario le plc fungono da backhaul per i nodi WiMAX che devono essere posizionati in aree densamente popolate.

L'infrastruttura in fibra viene usata al massimo in quanto è il punto iniziale della rete, poi la rete MV viene impiegata come backhaul per portare i dati dove le unità WiMAX verranno installate; in questo modo si creano hot-spots WiMAX in varie parti della città che coprono l'area con i dati.

I vantaggi riguardano: costi di realizzazione della dorsale inferiori, capacità di dati outdoor e roaming, crescita di banda scalare nelle stazioni WiMAX.[101]

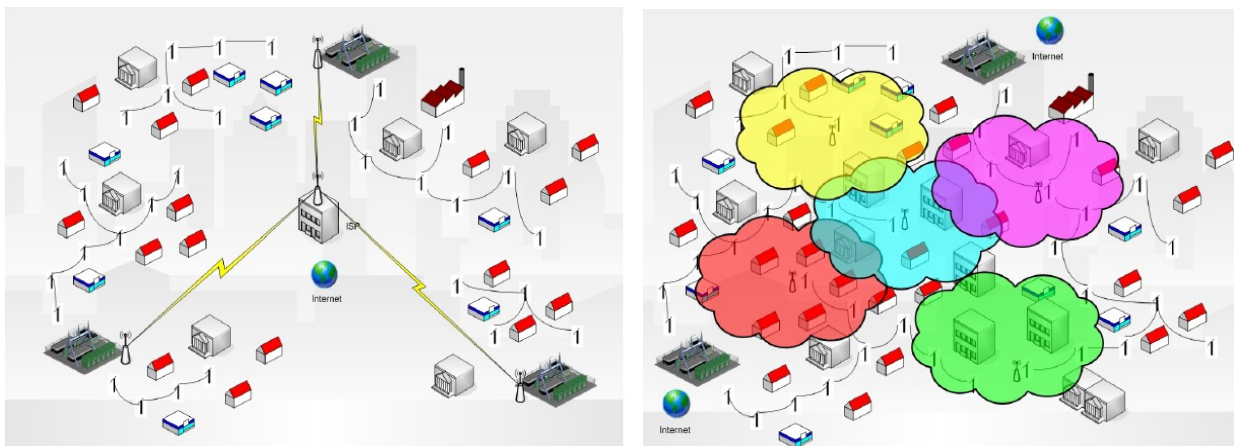


Figura 7.13: WiMAX come backhaul(sx) e plc come backhaul(dx) [101]

▲ PLC+xDSL

Nel primo scenario le plc sono utilizzate come dorsale e l'xDSL all'interno degli edifici per l'accesso agli utenti: una buona soluzione per le aree densamente abitate con alti grattacieli, dove le plc hanno difficoltà a coprire l'intera superficie senza vari ripetitori. I vantaggi sono: alte prestazioni fisiche negli edifici, meno frequenze necessarie alle plc e possibilità di coprire edifici elevati.

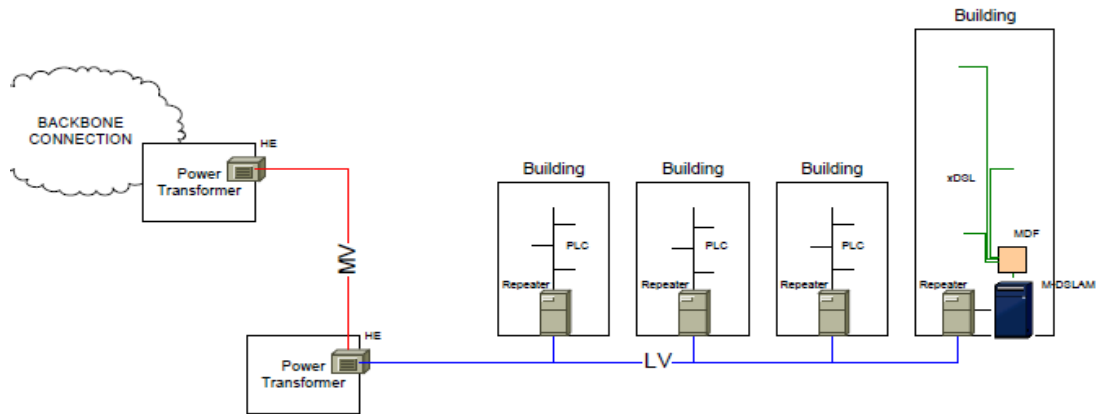


Figura 7.14: Plc come dorsale e xDSL negli edifici [101]

Nel secondo scenario invece l'xDSL è usata come dorsale e le plc per l'accesso dell'ultimo miglio: una valida soluzione per superare lunghi collegamenti in media tensione.

Un possibile esempio prevede l'xDSL installata in un'area centrale (sottostazione) di potenza, dove può distribuire l'accesso a diversi trasformatori che consentono la creazione di celle nell'area.

Vantaggi: costi per la dorsale inferiori, superamento di lunghi links MV e aumento di banda scalare nei links DSL.[101]

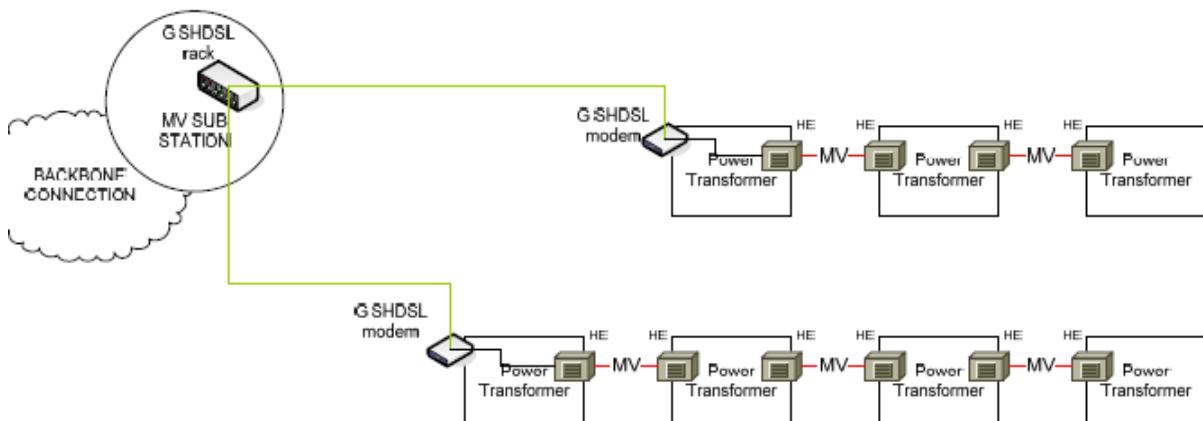


Figura 7.15: XDSL come dorsale e plc per l'accesso dell'ultimo miglio [101]

▲ PLC+satellite

Nel primo caso viene utilizzato un collegamento via satellite come dorsale per l'accesso ad internet, mentre la distribuzione in-home viene effettuata dalle plc.

Questa soluzione è utile per fornire l'accesso ad internet ad aree remote dove le reti di telecomunicazioni non sono presenti.

In un secondo caso invece il collegamento via satellite arriva alla stazione MV/LV, con le plc che si occupano della distribuzione sia indoor che nell'ultimo miglio: questa soluzione va bene nelle aree rurali dove la rete elettrica è provvista di sottostazioni.[101]

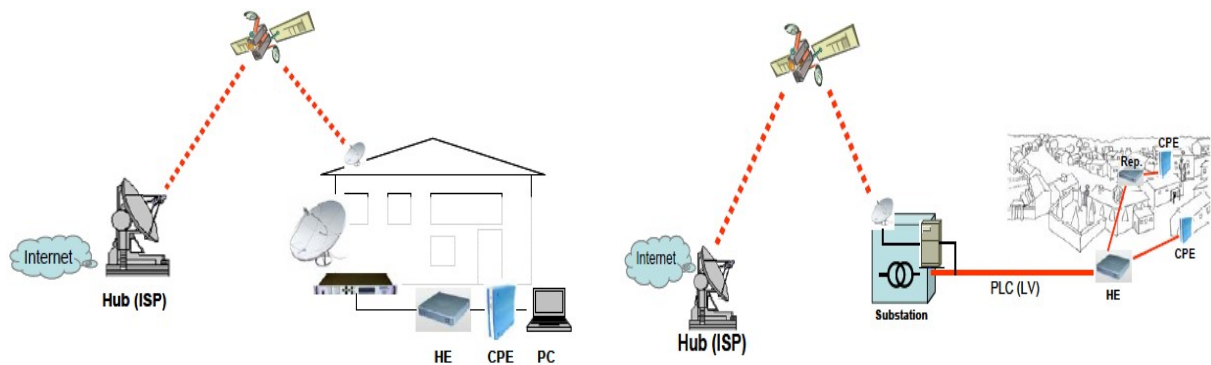


Figura 7.16: Link via satellite come dorsale senza e con sottostazione MV/LV [101]

▲ PLC+UMTS

Sfruttando il vantaggio della velocità offerta dai dispositivi HSDPA(14.4Mbps), questi possono fungere da dorsale, in un contesto dove la card HSDPA viene connessa ad un ripetitore che distribuisce il segnale all'interno degli edifici che usano le plc.

Così diversi utenti condividono la stessa connessione HSDPA attraverso il ripetitore, ma è possibile anche un'alternativa dove gli utenti hanno il proprio terminale HSDPA e diffondono il segnale tramite un ripetitore all'interno della casa.[101]

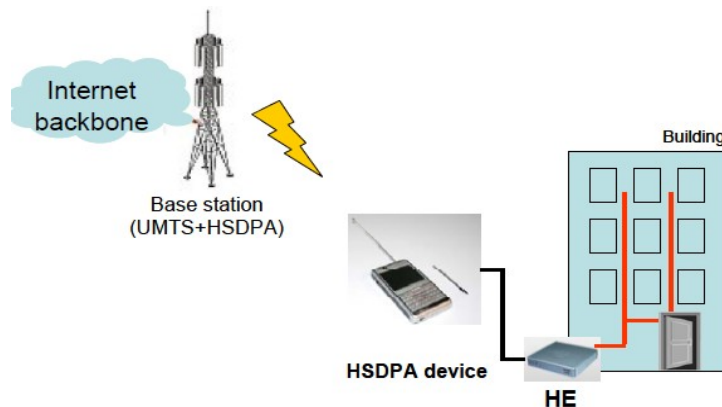


Figura 7.17: UMTS(HSDPA)+plc [101]

7.4 Progetti e organizzazioni

In quest'ultima parte vengono presentati i principali progetti e le organizzazioni che hanno lo scopo di portare avanti lo sviluppo delle powerline.

Intanto tra gli eventi principali che riguardano il settore powerline si ricorda l'ISPLC(International Symposium on Power Line Communication), una conferenza annuale che ha preso il via nel 1997 dai ricercatori di comunicazioni in Europa e in Asia.

Si tratta di un forum per la discussione delle proposte inerenti all'uso della rete elettrica come rete di comunicazione, che è arricchito dalla presenza di un team internazionale di ricercatori industriali e accademici, i quali rendono l'evento la conferenza più importante del settore.

L'ISPLC si tiene di solito in primavera, ogni volta in una diversa località del mondo e i temi riguardano: l'accesso, l'home networking, le applicazioni in-vehicle e molte altre, con la produzione di un'interessante documentazione tecnica, molto utile per chi desidera approfondire i vari aspetti delle plc.[103]

7.4.1 Il progetto PALAS

Palas significa Powerline as an Alternative Local Access ed è un progetto europeo nato nel gennaio del 2000, con lo scopo di fornire un servizio di consulenza tecnologica, economica e strategica per lo sviluppo e il collaudo di sistemi plc e per cercare di consentire loro di arrivare sul mercato il prima possibile.[1]

Tra le varie proposte si ricorda il sistema PAN-SIM(Powerline Access Network Simulator) all'ISPLC del 2001 in Svezia, un dispositivo che serve per valutare le prestazioni degli apparecchi plc in termini di QoS ed efficienza del MAC.

Viene usato per effettuare un'ottimizzazione delle reti plc e una pianificazione della rete d'accesso stabilendo: il numero massimo di utenti che si possono connettere con un QoS sufficiente, le specifiche di QoS che devono essere garantite dal provider, l'utilizzo della rete e la valutazione dell'efficienza economica di essa.[104]

Di seguito si riportano il modello e lo schema a blocchi del dispositivo:

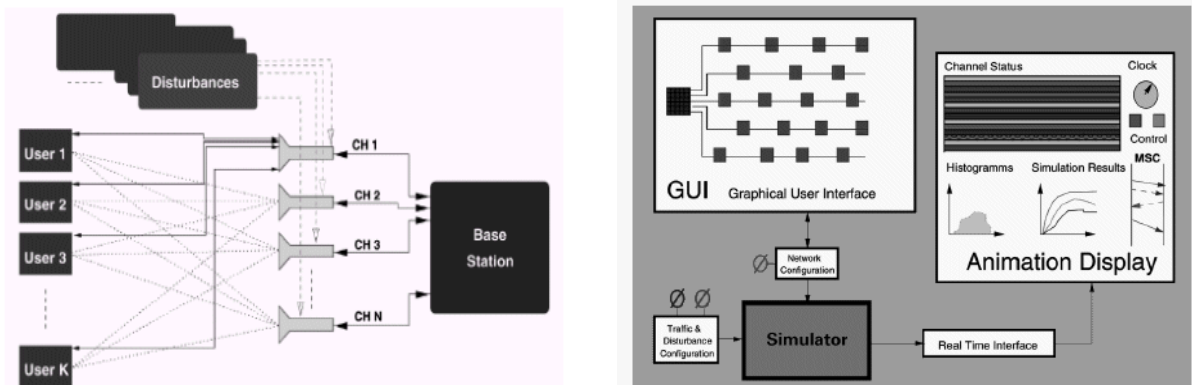


Figura 7.18: Modello e schema a blocchi del dispositivo PAN-SIM [101]

7.4.2 Il progetto OPERA

Il progetto OPERA(Open Powerline European Research Alliance) parte nel gennaio del 2004 e viene sviluppato dalla Comunità Europea nell'ambito del Programma Quadro “Broadband for all”, che ha lo scopo di diffondere il più possibile la banda larga.

Per questo progetto sono stati stanziati 20 milioni di Euro e sono state previste due fasi della durata di due anni ciascuna.

È stato effettuato uno studio di valutazione degli sviluppi tecnici e socio-economici della tecnologia plc, con l'intento di integrare lo sviluppo: della tecnologia xDSL nella diffusione in tutte le aree, in particolare in quelle più povere, della connessione ad internet e dell'informatizzazione.

Tra i vari scopi c'era anche quello di arrivare ad uno standard normativo unico per tutti, tra le cui società era presente anche Enel.it che si è occupata della sperimentazione di Grosseto.[2]

7.4.3 Le associazioni dei produttori

Anche per le powerline sono presenti associazioni di produttori aventi un duplice scopo: da una parte quello di approfondire gli studi e lo sviluppo tecnologico e dall'altra quello di definire standard che possano rendere compatibili i prodotti che vengono immessi sul mercato.

L'associazione più nota è l'Home Plug Powerline Alliance, che è già stata presentata nel capitolo 2: è stata fondata nel 2000 da 13 delle più importanti aziende di telecomunicazioni a livello mondiale, con l'intento di stabilire degli standard per la realizzazione di prodotti a banda larga destinati all'home networking(adattatori Ethernet).

Tra gli standard più noti si ricorda l'Home Plug 1.0 del 2001 con velocità di 14Mb/s, poi questa è stata aumentata a 200Mb/s con l'HomePlug AV del 2005, infine ha raggiunto valori compresi tra 600 e 1800Mb/s con la versione AV2 di quest'anno.

Il PLC Forum invece a differenza di altre associazioni non si occupa della definizione di nuovi standard, ma ha lo scopo di riunire e difendere gli interessi di tutte le aziende che operano nel settore powerline, oltre a ciò intrattiene rapporti con gli enti governativi coinvolti nei processi di standardizzazione.

Infine si ricordano la CEA(Consumer Electronics Association) col gruppo CEA R-7.3 Committee, che sviluppa standard per l'home networking, l'UTC(United Telecom Council), la PLCA(Powerline Communication Association) e il tedesco Powerline Telecommunications Forum.[2]

Conclusioni

In questo capitolo conclusivo viene proposto un riepilogo generale dei vantaggi, degli inconvenienti e della problematiche che sono state affrontate e risolte, per poter fare un bilancio finale sulla tecnologia plc e vedere come possa avere uno sviluppo positivo.

Ecco un riepilogo di tutti i vantaggi offerti suddivisi per categorie, a cominciare da quelli in ambito sociale:

- la rete elettrica a differenza delle reti di telecomunicazioni è diffusa nella maggior parte del pianeta, quindi un vasta percentuale di popolazione può accedere alla tecnologia plc;
- è possibile raggiungere zone come le aree rurali o di montagna, che non sono coperte dalle reti di telecomunicazioni tradizionali(ad es. non è presente l'ADSL);
- si contribuisce a migliorare il fenomeno del digital divide nelle aree meno sviluppate;
- la tecnologia, con la quale si può ottenere l'automazione di molte attività, ad es. in ambito domestico con la domotica, può essere di aiuto anche alle persone disabili;

In ambito economico:

- l'utilizzo della rete elettrica esistente evita di dover realizzare una nuova rete con cablaggi specifici e ciò determina una notevole riduzione dei costi;
- la capacità in termini di profitto per i produttori è rilevante;
- si prospettano guadagni remunerativi per le compagnie elettriche che decidessero di assumere anche il ruolo di internet provider;
- l'installazione e la configurazione dei prodotti, come gli adattatori Ethernet a banda larga è abbastanza semplice;
- i prodotti non sono più costosi di quelli delle altre tecnologie e con i nuovi standard sono compatibili tra di loro;
- i campi di applicazione sono svariati: si va dalle applicazioni a banda stretta come i sistemi di controllo centralizzato d'impianti e la domotica ad applicazioni a banda larga come l'accesso ad internet veloce e le applicazioni multimediali;
- in particolare con l'aumento della richiesta di banda larga e con le varie motivazioni per realizzare LAN domestiche, l'accesso ad internet nell'ultimo miglio e l'home networking sembrano essere i settori che potrebbero garantire i maggiori sviluppi;

In merito alle caratteristiche tecniche:

- si possono raggiungere velocità massime elevate con i nuovi standard: 200-500Mbps con l'HomePlug AV, oltre i 600Mbps con l'HomePlug AV2 e 500Mbps con l'IEEE1901, anche se come già detto le velocità effettive sono inferiori;
- si possono raggiungere distanze fino a 3Km nel segmento d'accesso e 200/300m all'interno dell'abitazione;
- si ha sicurezza nella trasmissione grazie alla crittografia 128bit AES;
- con l'OFDM, oltre che poter raggiungere elevate velocità, si può trasmettere anche in condizioni di canale ostili caratterizzate da rumore e attenuazione;
- con la tecnica dello Spread Spectrum si ha la sicurezza contro le intercettazioni e una miglior resistenza a rumore e interferenze;
- con protocolli quali il CSMA/CA e altri è possibile regolare l'accesso al canale degli utenti;

Dallo studio sul possibile sviluppo delle plc si è ricavato che:

- è possibile sia per quanto riguarda le aree geografiche, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, sia per le fasce di mercato con in primis i servizi a banda larga;
- dal confronto con le altre tecnologie già affermate si è trovato che le plc hanno caratteristiche spesso comparabili e in certi casi migliori;
- solo alcune tecnologie e solo in certi ambiti sono concorrenziali;
- le plc hanno anche il vantaggio di poter essere integrate con le altre tecnologie;

Per quanto riguarda invece le problematiche che si sono presentate sin dalle origini e che per molto tempo hanno impedito alle plc di svilupparsi, la maggior parte sono state risolte, quindi ad oggi si può affermare che siano stati compiuti notevoli progressi, nel dettaglio:

- per affrontare le condizioni ostili del canale che si presentano alle alte frequenze i nuovi dispositivi fanno uso di tecniche avanzate quali l'OFDM e lo Spread Spectrum;
- rispetto al passato, sempre grazie all'OFDM le velocità sono state aumentate per poter supportare le applicazioni a banda larga;
- sono stati sviluppati standard anche per le applicazioni a banda larga: gli HomePlug di cui l'ultimo (AV2) proprio quest'anno e l'IEEE1901 nel 2010;

Infine rimangono da considerare gli inconvenienti, in particolare l'interferenza nei confronti dei servizi che operano nello stesso range delle plc alle alte frequenze, ovvero fino a 30MHz.

Alcuni paesi come la Germania hanno prodotto una normativa specifica in proposito, inoltre ci sono diverse tecniche, descritte nel capitolo 5, per poter ridurre l'emissione di radiazioni come la regolazione della potenza, l'uso di filtri o il "chimney approach".

Nonostante ciò al momento la situazione è diversa per ogni paese, mentre una normativa unica, almeno a livello europeo, consentirebbe di avere chiarezza e permetterebbe alle plc di svilupparsi ulteriormente.

Al momento dunque questa sembra essere l'ultima questione da definire, ma si ricorda che è in fase di discussione, ed entro marzo 2013 si dovrebbe arrivare al voto per la normativa prEN50561-1 del CENELEC che ha proprio questo scopo.

In conclusione dunque considerando i grandi vantaggi offerti dalle powerline, il numero di problematiche che sono state risolte, quindi i progressi fatti fino ad ora e l'unico inconveniente della mancanza della normativa unica alle alte frequenze, che però presto potrebbe essere risolta, si può affermare in questo bilancio finale che le plc abbiano buone probabilità di affermarsi.

Ringraziamenti

In questo spazio desidero ringraziare il mio relatore Prof.Ing.Luca Roffia, il quale mi ha dato la possibilità di studiare e approfondire meglio un argomento nuovo e interessante.

Lo ringrazio inoltre per la libertà che mi ha concesso nella realizzazione della tesi, ma al tempo stesso per le sue preziose indicazioni, le quali sono state molto importanti per migliorare e attribuire un valore aggiunto al lavoro.

Sempre gentile e disponibile, oltreché preparato e disposto a dare consigli utili, il Prof. è stato una guida e un punto di riferimento.

Voglio anche ringraziare la mia famiglia per il sostegno, la fiducia e la comprensione che mi hanno dimostrato durante il percorso di studi.

Si sono sempre dimostrati liberali e non mi hanno mai messo fretta per raggiungere gli obiettivi, creando un clima di serenità, che permette di poter lavorare nel migliore dei modi.

Infine un ringraziamento va anche agli autori e alle organizzazioni, che hanno reso disponibile il materiale che è stato utilizzato per realizzare questa tesi.

Per quanto riguarda invece questo lavoro, l'augurio è che possa costituire un'utile guida a chi desidera approfondire meglio i vari aspetti della tecnologia powerline e voglia rendersi conto del suo stato attuale.

Indice dei nomi

128-bit AES: 128-bit Advanced Encryption Standard
2G/3G/4G: 2th/3th/4th Generation Mobile Phone Networks
AC: Application Control
ADC: Analog to Digital Converter
ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Loop
AE: Associated Equipment
AEM: Azienda Elettrica Municipale di Milano
AM: Amplitude Modulation
AMR: Automatic Meter Reading
ANSI: American National Standards Institute
AR: Application Resource
ARIB: Association of Radio Industries and Business
ARQ: Automatic Repeat Request
ARRL: America Radio Relay League
ASCM: Advances Sub Carrier Modulation
ASK: Amplitude-Shift Keying
ASM: Azienda dei Servizi Municipalizzati di Brescia
AWGN: Additive white Gaussian noise
BBC: British Broadcasting Corporation
BER: Bit Error Rate
BMWi: Bundesministerium fur Wirtschaft und Technologie
BPL: Broadband over powerline
BPSK: Binary Phase-Shift Keying
CAL: Common Application Language
CALMS: Credit And Load Management System
CBR: Costant Bit Rate
CCK: Complementary Code Keying
CDMA: Code Division Multiple Access
CDMA-FH: Code Division Multiple Access-Frequency Hopping
CDP: Communications Distribution Port
CEA: Consumer Electronics Association
CEN: European Committee for Standardization
CENELEC: Committee European de Normalisation Electrotechnique
CISPR: Special International Committee on Radio Interference
CLA: Control Law Accelerator
CPE: Customer Premises Equipment
CPL: Courants porteurs en ligne
CPU: Central Processing Unit
CRC: Cyclic Redundancy Check
CSMA: Carrier Sense Multiple Access

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
CSMA/CDRC: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution
CSS: Chirp Spread Spectrum
CTC: Convolutional Turbo Codes
CTP: Centralized Token Passing
CU: Conditioning Unit
DAB: Digital Audio Broadcasting
DAC: Digital to Analog Converter
DBPSK: Differential Binary Phase-Shift Keying
DES: Data Encryption Standard
DPL: Digital Powerline Communications
DQPSK: Differential Quadrature Phase-Shift Keying
DSMA: Datagram Sensing Multiple Access
DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum
DVB: Digital Video Broadcasting
EDF: Electricité de France
EDP: Electricity Distribution Port
EDP: Electronic Data Processing
EHS: European Home System
EIB: European Installation Bus
EnBW: Energieverbund Baden-Württemberg
ENEL: Ente nazionale per l'energia elettrica
ETSI: European Telecommunications Standards Institute
EUT: Equipment under test
FCC: Federal Communications Commission
FDD: Frequency Division Duplex
FEC: Forward Error Correction
FFT: Fast Fourier Transform
FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum
FM: Frequency Modulation
FSK: Frequency-Shift Keying
FSO: Free Space Optics
FTTH/FTTC: Fiber to the home/curb
GHz: Gigahertz
GMSK: Gaussian Minimum-Shift Keying
GPIO: General Purpose Input/Output
GPRS: General Packet Radio Service
GSM: Global System for Mobile Communications
HAVi: Home Audio Video Interoperability
HD-PLC: High Definition Power Line Communication
HDTV: High-definition Television

HF: High Frequency
HFC: Hybrid Fiber Coax
HFPCN: High Frequency Conditioned Power Network
HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access
HTTP/HTTPS: Hypertext Transfer Protocol/Hypertext Transfer Protocol Secure
HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning
I²C: Inter-Integrated Circuit
ICT: Information and Communications Technology
IEC: International Electrotechnical Commission
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGMP: Internet Group Management Protocol
IPTV: Internet Protocol Television
Ipv6: Internet Protocol Version 6
ISDN: Integrated Services Digital Network
ISI: Interoperable Self-Installation
ISO: International Organization for Standardization
ISPLC: International Symposium on Power Line Communication
ITE: Information Technology Equipment
ITU: International Telecommunications Union
Kbps: Kilobit per second
KHz: Kilohertz
Km: Kilometer
LAN: Local Area Network
LDPC: Low Density Parity Check
LMDS: Local Multipoint Distribution Service
LON: Local Operating Network
LPI: Low Probability of Intercept
MAC: Media Access Control
Mbps: Megabit per second
MD/MDIX: Medium Dependant Interface/ Medium Dependant Interface Crossover
MF: Medium Frequency
MHz: Megahertz
MIMO: Multiple Input Multiple Output
MMDS: Multichannel Multipoint Distribution Service
MRD: Market Requirements Document
MVV: Manheimer Versorgungs und Verkehrsgesellschaft
NB30: Nutzungsbestimmung 30 zur Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung
Norweb: North West Electricity Board
NP: Network Port
OFDM: Ortoogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA: Ortoogonal Frequency Division Multiple Access
OPERA: Open Powerline European Research Alliance

OSI: Open System Interconnection
PALAS: Powerline as an Alternative Local Access
PAM: Pulse Amplitude Modulation
PAN: Powerline Area Network
PAN-SIM: Powerline Access Network Simulator
PHY: Physical layer
PLC: Powerline Communications
PLCA: Powerline Communication Association
PLL: Phase-Locked Loop
PSD: Power Spectral Density
PSK: Phase-Shift Keying
PTF: Powerline Telecommunications Forum
QAM: Quadrature Amplitude Modulation
QoS: Quality of Service
QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying
RA: Radiocommunications Agency (UK)
RAM: Random-Access Memory
Reg TP: Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
RFID: Radio-Frequency Identification
ROBO: Robust OFDM
ROM: Read-Only Memory
RWE: Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk
Sipperec: Syndicat Intercommunal de la Périphérie de Paris pour l'Electricité et les Réseaux de Communication
SISO: Single Input Single Output
SNR: Signal to Noise Ratio
SOAP/XML: Simple Object Access Protocol/Extensible Markup Language
SoC: System on chip
SOHO: Small Office Home Office
SPI: Serial Peripheral Interface
SU: Service Unit
TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDD: Time Division Duplex
TDMA: Time Division Multiple Access
TH-FHSS: Time Hopping-Frequency Hopping Spread Spectrum
THSS: Time Hopping Spread Spectrum
TIA: Telecommunications Industry Association
UART: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UE: European Union
UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
USB: Universal Serial Bus
UTC: United Telecom Council

VBR: Variable Bit Rate
VDSL: Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line
VHF: Very High Frequency
VoIP: Voice over Internet protocol
WAN: Wide Area Network
WEP: Wired Equivalent Privacy
WiFi: Wireless Fidelity
WiMAX: Worldwide Interoperability for microwave access
WLAN: Wireless Local Area Network
WPA: Wi-Fi Protected Access
WRAP: Web Ready Appliances Protocol
WSDL: Web Services Description Language
xDSL: x Digital Subscriber Loop

Indice delle figure

Introduzione

Figura I.1: Esempio di sistema di comunicazione plc [62]

Capitolo 1

Figura 1.1: PLC per la copertura dell'ultimo miglio [5]

Figura 1.2: PLC per la realizzazione di reti LAN [6]

Figura 1.3: I progetti più importanti realizzati in Germania [8]

Figura 1.4: L'infrastruttura di RWE Powerline realizzata da ASCOM [8]

Figura 1.5: L'infrastruttura di MVV realizzata da main.net [8]

Figura 1.6: La boucle locale electrique di La Haye-du-Puits [63]

Capitolo 2

Figura 2.1: Abbinamento del segnale elettrico al segnale dati [63]

Figura 2.2: Normativa in NordAmerica e in Europa alle basse frequenze [18]

Figura 2.3: X-10: Attraversamento dello zero [65]

Figura 2.4: X-10: Tempi [65]

Figura 2.5: X-10: Composizione dei pacchetti [65]

Figura 2.6: X-10: Codifica dei cicli [65]

Figura 2.7: Combinazione di Intellon SSC P300 PL(Network Interface Controller) con Intellon SSC P111 PL(Media Interface) [64]

Figura 2.8: Echelon Lonworks: Architettura del Neuron Chip [66]

Figura 2.9: Echelon Lonworks: Schema a blocchi con transceiver PLT-22 [67]

Figura 2.10: Schema a blocchi del chip IPL0201 a 2Mps di Inari [69]

Figura 2.11: Schema a blocchi del trasmettitore e del ricevitore HPAV [68]

Capitolo 3

Figura 3.1: Costellazioni delle modulazioni B-PSK, 4-PSK e 8-PSK [29]

Figura 3.2: Confronto tra le curve BER delle modulazioni in fase [29]

Figura 3.3: Confronto tra le capacità di canale delle modulazioni in fase [29]

Figura 3.4: Schema del trasmettitore ideale QAM [30]

Figura 3.5: Schema del ricevitore ideale QAM [30]

Figura 3.6: Esempi di costellazioni: 16-QAM rettangolare, 16-QAM circolare e 8-QAM circolare [30]

Figura 3.7: Spreading: distribuzione dell'energia del segnale su una banda più ampia [70]

Figura 3.8: Resistenza alle interferenze: col despreading, mentre il segnale viene riportato alle condizioni originarie, l'energia dell'interferenza viene distribuita [70]

Figura 3.9: Resistenza alle intercettazioni: il segnale si trova sotto il livello del rumore e il ricevitore non può captare la trasmissione senza le opportune chiavi [70]
 Figura 3.10: Resistenza al fading: il processo di despreading è sincronizzato sul percorso D, quindi R non può interferire se non contiene la stessa chiave [70]
 Figura 3.11: Trasformata dal dominio delle frequenze a quello del tempo. con aggiunta del prefisso ciclico [39]
 Figura 3.12: Sistema di trasmissione OFDM [38]
 Figura 3.13: Codifica di fase differenziale dei simboli e modulazioni tradizionali [39]
 Figura 3.14: Allocazione delle portanti [71]
 Figura 3.15: Rete plc per la copertura dell'ultimo miglio [41]
 Figura 3.16: Struttura della rete [41]

Capitolo 4

Figura 4.1: Livello di attenuazione delle linee domestiche [18]
 Figura 4.2: Andamento dell'attenuazione in funzione della frequenza [18]
 Figura 4.3: Rumore generato da (in senso orario): dimmers, accensione dispositivi elettrici, motori universali, linee di alimentazione dei citofoni [72]
 Figura 4.4: Rete di distribuzione dell'energia elettrica [46]
 Figura 4.5: Rete esterna [46]
 Figura 4.6: Generico modello di canale [47]
 Figura 4.7: Risposta in frequenza e impulsiva dei canali RC1-RC4 [48]
 Figura 4.8: Contributi di rumore sulle linee elettriche ad alta frequenza [44]
 Figura 4.9: Rumore di fondo [46]
 Figura 4.10: Rumore impulsivo asincrono [46]
 Figura 4.11: Confronto tra la densità spettrale di potenza del rumore impulsivo asincrono con quella del rumore di fondo [47]
 Figura 4.12: Distribuzione misurate dell'ampiezza [33]
 Figura 4.13: Distribuzione misurata della larghezza [33]
 Figura 4.14: Distribuzione misurata del tempo di interarrivo degli impulsi [33]
 Figura 4.15: Capacità del canale tra 0,5KHz e 20MHz [48]
 Figura 4.16: Risposta in frequenza e risposta impulsiva della linea elettrica di un ufficio [49]
 Figura 4.17: Deviazione standard normalizzata dell'ampiezza e della fase di $H(f)$ [49]
 Figura 4.18: Rumore di fondo fino a 200KHz [49]
 Figura 4.19: Rumore di fondo fino a 30MHz [49]
 Figura 4.20: Andamento dell'impedenza in funzione della frequenza [20]
 Figura 4.21: Modello di canale di sistemi lineari(Dostert) [50]
 Figura 4.22: Modello di canale con rumore(Onuga/Donaldson) [50]
 Figura 4.23: Circuito equivalente powerline(Downey/Sutterlin) [20]

Capitolo 5

Figura 5.1: Normativa CENELEC EN50065-1: Bande di lavoro e limiti di potenza [33]

Figura 5.2: Le bande e i limiti di emissione della normativa CISPR22 [52]

Figura 5.3: Unità di condizionamento del sistema DPL [7]

Figura 5.4: Pianta del test eseguito a Stanley Road [7]

Figura 5.5: Campo irradiato da varie tipologie di lampioni [54]

Figura 5.6: Livello d'ampiezza di varie sorgenti di rumore [54]

Figura 5.7: Effetto del segnale interferente sul livello totale di rumore [54]

Figura 5.8: Campi elettrici generati dalla propagazione orizzontale comparati al rumore di fondo [55]

Figura 5.9: Area di copertura del campo elettrico irradiato a 8MHz da un sistema VDSL a Londra [55]

Figura 5.10: Campi elettrici generati dalla propagazione ionosferica comparati al rumore di fondo [55]

Figura 5.11: Caratteristiche, campo elettrico e potenza totale generata da ogni città [55]

Figura 5.12: Distanze per le zone di esclusione dei sistemi plc [55]

Figura 5.13: Utilizzo dello spettro radio tra 0 e 10MHz per uso civile [33]

Figura 5.14: Densità spettrale di potenza in condizioni di alto e basso livello di traffico [53]

Figura 5.15: % Copertura del segnale in rapporto alla distanza e alla riduzione di potenza per un sistema DPL in banda 1 [53]

Figura 5.16: Limiti dei disturbi di conduzione e di radiazione della FCC Part 15 [74]

Figura 5.17: Normativa NB30: limiti di forza del campo interferente [52] [73]

Figura 5.18: Normativa MPT 1570: Limiti di forza del campo interferente [52]

Figura 5.19: Il chimney approach del sistema di NOR.WEB DPL [53]

Figura 5.20: Normativa del gruppo ETSI PLT-CENELEC S/C205A WG10 [4]

Figura 5.21: Organizzazioni coinvolte nel processo di regolamentazione [52]

Figura 5.22: CENELEC ed ETSI: Comitati e relazioni [57]

Figura 5.23: prEN50561-1: Limiti per i disturbi di conduzione fino a 30MHz [61]

Figura 5.24: prEN50561-1: Livello massimo del segnale di trasmissione tra 1,6 e 30MHz [61]

Figura 5.25: Requisiti per un range di esclusione di frequenze dinamico [61]

Figura 5.26: Limiti per i disturbi di radiazione dei dispositivi di classe B della EN55022 [74]

Capitolo 6

Figura 6.1: Schema di un sistema di home automation [105]

Figura 6.2: Gli elettrodomestici intelligenti Merloni-Ariston [105]

Figura 6.3: Schema del Telegestore Enel [77]

Figura 6.4: I servizi offerti dal sistema MyHome [106]

Figura 6.5: Il sistema PowerDom di D-Tech Electronic [65]

Figura 6.6: Schema del sistema Minos System [107]
 Figura 6.7: Adattatori Aztech: HL110EPA e HL110EW [83]
 Figura 6.8: Adattatori Belkin: Surf AV e HD500 Play [84]
 Figura 6.9: Adattatori Devolo: dLAN200AVPlus Starter kit e 500AVtriple+ [85]
 Figura 6.10: L'adattatore PowerLan 1000 di Digicom [86]
 Figura 6.11: Adattatori D-Link: DHP-501AV e DHP-W306AV [87]
 Figura 6.12: Adattatori Edimax: HP5001 e HP-2002APn [88]
 Figura 6.13: Multipresa Hamlet e confronto con una multipresa normale [89]
 Figura 6.14: L'adattatore AV500 di Intellinet [90]
 Figura 6.15: Adattatori Netgear: XAVB2101, XAVB5001 e XAVB5004 Home Theater [91]
 Figura 6.16: Adattatori della Sitecom: LN-515, LN-521 e LN-518 [92]
 Figura 6.17: Tabella comparativa degli adattatori Ethernet a banda larga [83-92]
 Figura 6.18: Schema a blocchi del SoC ADD1021 [93]
 Figura 6.19: Schema a blocchi di un transceiver basato su PLM-1 [94]
 Figura 6.20: Schema a blocchi del CY8CPLC20 [95]
 Figura 6.21: Schema a blocchi del PSoC Core [95]
 Figura 6.22: Lo Smart Server 2.0 e gli Smart Transceivers di Echelon [96]
 Figura 6.23: Schema a blocchi del transceiver basato sul MAX2992 [97]
 Figura 6.24. Schema a blocchi del SoC ST7590 [99]
 Figura 6.25: Il kit di sviluppo di Texas Instruments [100]
 Figura 6.26: Tabella comparativa dei SoC/Transceivers [93-100]

Capitolo 7

Figura 7.1: Utenti internet nel mondo e per continente [102]
 Figura 7.2: % di utenti internet in rapporto alla popolazione di ogni paese [102]
 Figura 7.3: Sottoscrittori di banda larga nel mondo e per continente [102]
 Figura 7.4: Ragioni per realizzare una LAN [4]
 Figura 7.5: Copertura in rapporto alla bit-rate delle tecnologie d'accesso [101]
 Figura 7.6: Confronto plc/wireless/fibre per copertura, accessibilità e banda [101]
 Figura 7.7: Spesa di capitale in funzione della % di penetrazione di mercato per le varie tecnologie [101]
 Figura 7.8: Segmenti di mercato appropriati per le varie tecnologie [101]
 Figura 7.9: Segmenti di mercato appropriati in funzione della densità di popolazione [101]
 Figura 7.10: Installazione di infrastrutture per diverse tecnologie in-home [101]
 Figura 7.11: Tabella comparativa delle tecnologie fisse [101]
 Figura 7.12: Tabella comparativa delle tecnologie wireless [101]
 Figura 7.13: WiMAX come backhaul(sx) e plc come backhaul(dx) [101]
 Figura 7.14: Plc come dorsale e xDSL negli edifici [101]
 Figura 7.15: XDSL come dorsale e plc per l'accesso dell'ultimo miglio [101]
 Figura 7.16: Link via satellite come dorsale senza e con sottostazione MV/LV [101]
 Figura 7.17: UMTS(HSDPA)+plc [101]
 Figura 7.18: Modello e schema a blocchi del dispositivo PAN-SIM [101]

Bibliografia

- [1] S. Martini, “Sistemi di comunicazione su linee elettriche (Powerline Communications)”, Tesi di laurea, Università degli Studi di Pisa, Facoltà di Ingegneria, A.A.2000/2001, .PDF.
- [2] B.R. Lazzoni, “Powerline: Internet elettrica”, Tesi di laurea, Università degli studi di Pisa, Facoltà di Ingegneria, A.A.2003/04, .PDF.
- [3] H. Ottosson, H. Akkermans (eds.), "[State of the Art and Initial Analysis of PLC Services](#)", PALAS Deliverable D5, June 2000, .PDF.
- [4] S. Feindt, U. Leicht, "[European PLC Market Observatory](#)", PALAS Deliverable D1, June 2000, .PDF.
- [5] D. Hines, "[Unlocking the potential of power distribution networks](#)", Power Economics, April 2000, .PDF.
- [6] HomePlug Powerline Alliance, "[Enabling the Connected Home](#)", www.homeplug.com, 2000, .PDF.
- [7] IPCF, "[Introduction to Powerline Communications](#)", www.powerlineworld.com/members/powerlineintro.html, 2001.
- [8] BMP Telecommunications Consultants, “Les Courants Porteurs en Ligne (CPL/Powerline): État des Lieux et Premiers Retours du marché allemand”, www.csti.pm.gouv.fr, 2002, .PDF.
- [9] F.Catalano, A.Vershaeve, V.Vincenzi, “Trasmissione dati via rete elettrica”, Tesi di laurea, Università degli studi della Tuscia Viterbo, Facoltà di Economia, A.A.2002/03, .PDF.
- [10] SwissInfo, “Battesimo dell'innovativa tecnologia powerline”, www.swissinfo.ch/ita/Battesimo_dellinnovativa_tecnologia_Powerline.html?cid=2269194, Settembre 2001.
- [11] Divers Auteurs, “Les Principales expérimentations CPL”, www.altivis.fr/-Les-Principales-experimentations-.html, Mars 2007.
- [12] ARRL, “City of Manassas to End BPL service”, www.arrl.org/news/city-of-manassas-to-end-bpl-service, August 2010.
- [13] Wikipedia, “List of broadband over powerline deployments”, en.wikipedia.org/wiki/List_of_broadband_over_power_line_deployments, Accesso: Agosto 2012.
- [14] M. Miccoli, “Internet c'è luce nella trasmissione”, ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/1999/02/08/internet-luce-nella-trasmissione.html, Febbraio 1999.
- [15] AnceBrescia, “Collegamento a internet tramite la rete elettrica dell'abitazione nella città di Brescia”, www.ancebrescia.it/articoli/4356.htm, 2004.
- [16] Enel, “La sperimentazione Powerline Communications a Grosseto”, www.enel.it/it-IT/media/comunicati/comunicati_regione/toscana/release.aspx?iddoc=34078, Marzo 2002.

- [17] C.N. Krishnan, P.V. Ramakrishna, T.V. Prasad, S. Karthikeyan, "[Power-Line As Access Medium-A Survey](#)", International Millennium Conference on Affordable Telecom and IT Solutions for Developing Countries, COMMSPPHERE 2000, February 28-March 2000, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India, .PDF.
- [18] W. Downey, P. Sutterlin, "[Power Line Communication Technology Update](#)", www.echelon.com, 2001, .PDF.
- [19] L. Selander, "[Power Line Communications: Channel Properties and Communication Strategies](#)", Tesi di Laurea, Department of Information Technology, Lund University, 1999, .PDF.
- [20] L.F. Montoya, "[Power Line Communications: Performance Overview of the Physical Layer of Available protocols](#)", Thesis of Research, University of Florida, 1998, .PDF.
- [21] X. Feng, "[Home Networking](#)", www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/home_nets/index.html, 1999, .PDF.
- [22] Intelogis, "[Intelogis PLUG-IN Technology](#)", Powerline Communications White Paper, November 1998, .PDF.
- [23] Wikipedia, KNX(standard), it.wikipedia.org/wiki/KNX_(standard), Accesso: Agosto 2012.
- [24] Wikipedia, HomePlug, en.wikipedia.org/wiki/HomePlug, Accesso: Agosto 2012.
- [25] Wikipedia, IEEE 1901, en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1901, Accesso: Agosto 2012.
- [26] IEEE Standard Associations, "Final IEEE1901 Broadband over powerline standard now published", standards.ieee.org/news/2011/bpl.html, February 2011.
- [27] Wikipedia, Modulation, en.wikipedia.org/wiki/Modulation, Accesso: Agosto 2012.
- [28] L.Calandrino, M.Chiani, Quaderni di comunicazioni elettriche, Pitagora editrice editore, pp.65-76, 2001.
- [29] Wikipedia, Phase-Shift Keying, en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying, Accesso: Agosto 2012.
- [30] Wikipedia, Quadrature Amplitude Modulation, en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation, Accesso: Agosto 2012.
- [31] L.H.-J. Lampe, J.B. Huber, "Bandwidth Efficient Power Line Communications Based on OFDM", International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), Special Issue on Powerline Communications, Vol. 54, No.1, pp.2-12, January 2000.
- [32] Wikipedia, Spread Spectrum, en.wikipedia.org/wiki/Spread_spectrum, Accesso: Agosto 2012.
- [33] D. Hines, J. Dickinson, P. Nicholson, R. Lehnert, H. Hrasnica, A. Haidine, M. Stantcheva, M. Langhof, U. Leicht, "[PLC Technology Inventory and Development Roadmap](#)", PALAS Deliverable D2, June 2000, .PDF.
- [34] Wikipedia, DSSS, en.wikipedia.org/wiki/Direct-sequence_spread_spectrum, Accesso: Agosto 2012.
- [35] Wikipedia, FHSS, en.wikipedia.org/wiki/Frequency-hopping_spread_spectrum, Accesso: Agosto 2012.
- [36] Wikipedia, THSS, en.wikipedia.org/wiki/Time-hopping, Accesso: Agosto 2012.
- [37] Wikipedia, CSS, en.wikipedia.org/wiki/Chirp_spread_spectrum, Accesso: Agosto 2012.

- [38] Wikipedia, OFDM, en.wikipedia.org/wiki/OFDM, Accesso: Agosto 2012.
- [39] Intellon, "[OFDM Communications Primer](#)", White Paper #0032, March 1999, .PDF.
- [40] S. Gardner, B. Markwalter, L. Yonge, "[HomePlug Standards Brings Networking to the Home](#)", Communication Design, www.csdmag.com, December 2000.
- [41] H. Hrasnica, R. Lehnert, "[Powerline Communications in Telecommunication Access Area \(Powerline Communications im TK-Zugangsbereich\)](#)", VDE World Microtechnologies Congress - MICRO.tec 2000 -ETG-Fachtagung und Forum: Verteilungsnetze im liberalisierten Markt, September 25-27 2000, Expo 2000, Hannover, Germany, .PDF.
- [42] H. Hrasnica, R. Lehnert, "[Powerline Communications for Access Networks - Performance Study of the MAC Layer](#)", 3rd International Conference on Telecommunications BIHTEL 2000 "Telecommunication Networks", October 23-25 2000, Sarajevo, Bosnia Herzegovina, .PDF.
- [43] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert, "[Reservation MAC Protocols for Powerline Communications](#)", 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, ISPLC-2001, April 4-6 2001, Malmö, Sweden, .PDF.
- [44] H. Hrasnica, A. Haidine, "[Modeling MAC Layer for Powerline Communications Networks](#)", The International Society for Optical Engineering (SPIE's), Symposium on Information Technologies, Conference "Internet, Performance and Control of Network System", Boston MA, USA, November 5-8 2000, .PDF.
- [45] M. Stantcheva, K. Begain, H. Hrasnica, R. Lehnert, "[Suitable MAC Protocols for an OFDM Based PLC Network](#)", Proceedings of the 4th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, ISPLC-2000, 5-7 April 2000, Limerick, Ireland, .PDF.
- [46] P.J. Langfeld, M. Zimmermann, K. Dostert, "[Power Line Communication System Design Strategies for Local Loop Access](#)", Proceedings of the Workshop Kommunikationstechnik, Technical Report ITUU-TR-1999/02, pp.21-26, ISSN1433-9080, July 1999, .PDF.
- [47] M. Zimmermann, K. Dostert, "The Low Voltage Power Distribution Network as Last Mile Access Network-Signal Propagation and Noise Scenario in the HF-Range", International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), Special Issue on Powerline Communications, Vol. 54, No.1, pp.13-22, January 2000.
- [48] P.J. Langfeld, "[The Capacity of Typical Powerline Reference Channels and Strategies for System Design](#)", Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, ISPLC-2001, April 4-6 2001, Malmö, Sweden, pp. 271-278, .PDF.
- [49] C. Hensen, W. Schulz, "Time Dependence of the Channel Characteristics of Low Voltage Power-Lines and its Effects on Hardware Implementation", International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), Special Issue on Powerline Communications, Vol. 54, No.1, pp.23-32, January 2000.
- [50] A. Marshall, "Power Line Communication", www.exp-math.uni-essen.de/~vinck/reference-papers/PLC-encyclopoy-ferrera-atal.pdf, .PDF.

- [51] O.Bilal, Er Liu, Y.Gao, T.O.Korhonen, “Design of broadband coupling circuit for power-line communication”, Helsinki University of Technology, Communications Laboratory, 2004, .PDF.
- [52] D. Hines, J. Newbury, J. Rogers, P. Maden, "[European PLC Regulatory Landscape](#)", PALAS Deliverable D4, June 2000, .PDF.
- [53] R.P. Rickard, J.E. James, "[A Pragmatic Approach to Setting Limits to Radiation from Powerline Communications Systems](#)", 3rd International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, ISPLC-1999, 30 March-1 April 1999, Lancaster, United Kingdom, .PDF.
- [54] R. V. Womersley, R.D. Simmons, C.V. Tournadre, "[Final Report on a Study to Investigate PLT Radiation](#)", The Smith Group Ltd for Radiocommunications Agency (UK), 20 November 1998, .DOC.
- [55] D.W. Welsh, I.D. Flintoft, A.D. Papatsoris, "[Cumulative Effect of Radiated Emissions from Metallic Data Distribution Systems on Radio Based Services](#)", York EMC Services Ltd for Radiocommunications Agency (UK), 2000, .DOC.
- [56] P.A. Brown, "[Digital PowerLine \(DPL\) and Aircraft Communication Systems](#)", Nor.Web DPL Ltd, 14 July 1999, .PDF.
- [57] P.Strong, “Regulatory & Consumer Acceptance of Powerline Products”, nSine Limited UK, .PDF
- [58] A. Sennitt, "[Model Letter Currently Being Circulated Amongst International Broadcasters](#)", RNW, www.rnw.nl, 2001.
- [59] B.Jones, “European Commission asks CENELEC to produce a European Standard for Powerline modems”, www.incompliancemag.com/index.php?option=com_content&view=article&id=541:european-commission-asks-cenelec-to-produce-a-european-standard-for-powerline-modems&catid=25:standards&Itemid=129, 05/08/2010.
- [60] CEPT ECC Working Group SE, “Standardisation for PLT systems: interactions between EMC and spectrum issues”, 60th Meeting of WG SE, Tallinn(Estonia), 10–14 October 2011, .DOC.
- [61] CENELEC CLC/TC210, “prEN50561-1 Final Draft - Powerline communication apparatus used in low voltage installations - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement - Part 1: Apparatus for in-home use.”, February 2012, .DOC
- [62] Xeline, www.xeline.com/english/main.php.
- [63] F.Charbit, L.Michel, F.Suzanne, “Courant porteur en ligne”, Travail d'Etude et de Recherche, DESS T.N.I.-Filière A.S.R., 29/11/04, .PDF.
- [64] Intellon, "[SSC P111 PL Media Interface IC](#)", Technical Data Sheet, November 2000, .PDF.
- [65] “X10 Powerline Carrier (PLC) Technology”, www.x10.com/support/technology1.htm, Accesso: Agosto 2012.
- [66] Mise a jour par P.Bénédet d'après une idée original de F.Wiedemann, “Introduction aux réseaux de controle/commande basés sur la technologie LONWORKS®”, présenté par EBV Elektronik GmbH & Co KG Im Technologiepark 2-8, D-85586 Poing, Juillet 2004, .PDF.

- [67] W.Downey, P.Sutterlin, “Design of products basend on the PLT-22 Power Line Transceiver”, Echelon Corporation, San Jose, CA, www.echelon.com, .PDF.
- [68] HomePlug Powerline Alliance, “HomePlug AV White Paper”, 2005, .PDF.
- [69] Inari, "[IPL0201 2 Mbps Powerline Network Controller](#)", ASIC Data Sheet, 2001, .PDF.
- [70] Maxim Innovation Delivered, “An Introduction to Spread-Spectrum Communications”, maxim-ic.com, 18/02/2003.
- [71] Intellon, "[Intellon High Speed Power Line Communications](#)", White Paper, July 1999, .PDF.
- [72] W. Downey, P. Sutterlin, "[A Power Line Communication Tutorial-Challanges and Technologies](#)", www.echelon.com, 2001, .PDF.
- [73] R. Vick, K.H. Gonschorek, "[Abschlussbericht zur Power-Line Studie](#)", 27 January 2000, .PDF.
- [74] M.Schneider, P.Favre, M.Rubinstein, “EMC Analysis of Powerline Systems-Final Report”, July 2004, .PDF.
- [75] CENELEC, “Project: FprEN 50561-1:2012”, www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:110:3758296217538130:::FSP_PROJECT:23145, Settembre 2012.
- [76] Immediapress, “margherita2000.com ti mette subito online”, www.immediapress.it, 01/12/1999, .DOC.
- [77] Enel, “Telegestore”, www.enel.com/it-IT/innovation/smart_grids/smart_metering/telegestore, Accesso: Settembre 2012.
- [78] BTicino, “MyHome Web”, www.bticino.it/cons/content/dettaglio/myhome/bt_60/my_home_web, Accesso: Settembre 2012.
- [79] Sicurweb, “La nuova proposta globale Beghelli”, www.sicurweb.it/sicurezza_sul_lavoro/dettaglio.asp?id=901&p=6, Accesso: Settembre 2012.
- [80] Esedracoop, “Comunicazione Sunny Boy”, www.esedracoop.it/documenti/rete/com_sunny.pdf, .PDF.
- [81] D-Tech Electronic, “Il sistema PowerDom®”, www.dtechelectronic.com/1/il_sistema_powerdoma_1058806.html, Accesso: Settembre 2012.
- [82] UMPI, “Cos'è Minos System”, www.minos-system.com/panoramica.asp, Accesso: Settembre 2012.
- [83] Aztech, www.aztech.com.
- [84] Belkin, www.belkin.com.
- [85] Devolo, www.devolo.it.
- [86] Digicom, www.digicom.it.
- [87] D-Link, www.dlink.it.
- [88] Edimax, www.edimax.com.
- [89] Hamlet, www.hamletcom.com.
- [90] Intellinet, www.intellinet-network.com.
- [91] Netgear, www.netgear.it.

- [92] Sitecom, www.sitecom.com.
- [93] ADD Semiconductors, www.addsemi.com.
- [94] Ariane Controls, www.arianecontrols.com.
- [95] Cypress, www.cypress.com.
- [96] Echelon, www.echelon.com.
- [97] Maxim integrated, www.maximintegrated.com.
- [98] Semitech Semiconductors, www.semitechsemi.com.
- [99] ST Microelectronics, www.st.com.
- [100] Texas Instruments, www.ti.com.
- [101] J.Simon, J.P.Faure, R.Martinez, "Comparison of Access Technologies", OPERA White Papers, March 2009, .PDF.
- [102] Wikipedia, "Internet access", en.wikipedia.org/wiki/Internet_access, Accesso: Settembre 2012.
- [103] ISPLC, www.isplc.org, Accesso: Settembre 2012
- [104] R. Lehnert, "[Introduction to PAN-SIM - PowerLine Access Network Simulator](#)", PALAS Workshop at ISPLC-2001, 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, ISPLC-2001, April 4-6 2001, Malmö, Sweden, .PDF.
- [105] W. Downey, P. Sutterlin, "[Power Line Communication Applications Study](#)", www.echelon.com, 2001, .PDF.
- [106] Stem Costruzioni, "La casa domotica", www.stemcostruzioni.it/domotica.asp?ver=it, Accesso: Settembre 2012.
- [107] Domotica.it, "Minos System: la realtà tutta italiana di un sistema d'illuminazione intelligente", www.domotica.it/2011/02/minos-system-la-realta-tutta-italiana-di-un-nuovo-sistema-d%E2%80%99illuminazione-intelligente, Accesso: Settembre 2012.

