

INDICE

CAPITOLO 1 – Power Line Communications.....	1
1.1 Origini delle PLC.....	1
1.2 La tecnologia.....	2
1.3 La rete di alimentazione.....	4
1.4 Bande di frequenza utilizzate per sistemi PLC.....	5
1.4.1 La normativa.....	6
1.5 Tecniche di modulazione	7
1.5.1 Spread Spectrum (SS).....	8
1.5.1.1 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).....	9
1.5.1.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS).....	10
1.5.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).....	11
1.5.3 Tecniche ad accesso multiplo.....	15
CAPITOLO 2 – Protocolli e Dispositivi.....	19
2.1 Struttura dei protocolli.....	19
2.1.1 Konnex.....	20
2.1.2 Home Plug AV.....	22
2.1.2.1 Livello Fisico.....	23
2.1.2.2 Livello MAC.....	23
2.1.3 ITU G.hn/G. 9960.....	24
2.1.3.1 Architettura.....	24
2.1.3.2 Livello Fisico.....	25
2.1.3.3 Livello Data Link.....	26
2.1.4 PRIME.....	28
2.1.4.1 Architettura.....	29
2.1.4.2 Livello Fisico.....	30
2.1.4.3 Livello MAC.....	31
2.1.4.4 Livello di Convergenza.....	32
2.1.5 IEEE P1901.....	33
2.1.5.1 Architettura.....	33
2.1.5.2 Livello Fisico.....	37
2.1.5.3 Livello MAC.....	39

2.2 Dispositivi PLC.....	39
2.2.1 FME – SoC MB 87S2090.....	41
2.2.2 Atheros Chipset INT6400.....	42
2.2.3 Devolo dLan 200 AVsmart+.....	43
2.2.4 Netgear AV500 Adapter XAVB5501.....	44
2.2.5 Easy cam.....	45
2.2.6 Hamlet multipresa powerline.....	46
CAPITOLO 3 – Problematiche della rete PLC.....	49
3.1 Metodo di riferimento per modelli di canale PLC.....	49
3.1.1 Multipath.....	50
3.1.2 Modello ad eco.....	52
3.1.3 Modello reti a due porte.....	55
3.1.4 Modello basato sulla teoria delle linee di trasmissione.....	58
3.2 Rumori.....	61
3.2.1 Rumore di fondo.....	64
3.2.2 Rumore impulsivo.....	65
3.2.3 Modello statistico del rumore.....	66
3.3 Compatibilità elettromagnetica.....	69
3.4 Coesistenza negli appariti PLC.....	71
CAPITOLO 4 – Stato dell’arte nelle PLC.....	72
4.1 Applicazioni delle PLC nel settore automobilistico.....	72
4.1.1 Struttura del sistema.....	72
4.1.2 Vantaggi e svantaggi del sistema.....	75
4.2 La tecnologia PLC nel settore ferroviario.....	76
4.2.1 Caratteristiche della rete.....	77
4.2.2 Modello del canale di trasmissione.....	78
4.3 La tecnologia PLC a bordo di una nave.....	82
4.3.1 Modello del canale di trasmissione.....	83
Conclusioni.....	90
Bibliografia e Sitografia.....	92

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, ha trovato particolare interesse, l'utilizzo della rete elettrica per la trasmissione di voce, immagini e dati, come alternativa ai sistemi tradizionali di comunicazione. Questa tecnologia, basata sulla trasmissione ad onde convogliate, è conosciuta come Power Line Communications (PLC).

Il vantaggio di utilizzare la rete elettrica, come mezzo trasmissivo, consiste nel poter usufruire di qualsiasi presa elettrica domestica utilizzando il cablaggio già esistente.

Gli ambiti maggiormente interessati da questa tecnologia sono: l'automazione degli edifici, per quanto riguarda gli impianti tecnologici e i sistemi di sicurezza per alberghi, ospedali, centri commerciali, ecc.; la domotica, con cui è possibile aumentare il confort abitativo, grazie al controllo di apparecchi elettrodomestici, alla gestione di illuminazione ed alla possibilità di condividere la banda larga di Internet su vari computer, con il vantaggio, rispetto alle reti wireless, di non avere impedimenti dovuti a muri o ad altri ostacoli.

Attualmente, ulteriori studi sono rivolti all'applicazione in ambito automotive.

Nel capitolo 1 di questa tesi, ci si sofferma sugli aspetti generali della tecnologia a partire dalle origini, tenendo presente che l'idea di sfruttare la rete elettrica per la trasmissione dei dati risale a diversi anni fa, vista la necessità di utilizzare i cavi ad alta tensione già esistenti, evitando i costi eccessivi per altri sistemi di comunicazione.

Si fa notare come l'utilizzo della linea ad alta tensione per i sistemi a bassa frequenza, si diffuse soprattutto nelle zone più lontane perché valutata molto conveniente, in quanto la rete ad alto voltaggio non aveva alcuna discontinuità e rendeva possibile la comunicazione su rete elettrica, nonostante era notevole l'interferenza dovuta al rumore generato da archi elettrici.

Nel capitolo si mette in evidenza come lo sviluppo della tecnologia powerline, negli ultimi anni, ha interessato diversi ambiti. In particolar modo, con la diffusione di internet e dei servizi multimediali sempre più avanzati, lo sviluppo dei sistemi a banda larga, ha consentito un'alternativa all' "ultimo miglio" della rete di accesso, utilizzando il livello a bassa tensione da parte dei fornitori di servizi. A tal proposito, questa tecnologia può essere impiegata per portare banda larga, rappresentando una valida alternativa alle reti wireless, con il vantaggio di non avere impedimenti dovuti a muri o ad altri ostacoli del segnale. La frequenza utilizzata a banda larga è di 1,6 - 30 MHz,

mentre per la trasmissione a banda stretta il range di frequenza va da 3 kHz a 148,5 kHz, secondo le regole della normativa EN50065-1 che riguarda l'assegnazione delle frequenze stabilite dal Comitato Europeo di Normazione Elettronica (CENELEC).

Poiché la tecnica di comunicazione powerline è caratterizzata da un canale decisamente ostile, dovuto ad alcuni fenomeni come la presenza di echi e rumore, si sono applicate tecniche di modulazione idonee a rispondere ad una serie di requisiti come robustezza verso i cammini multipli, adattabilità dinamica, capacità di mascherare alcune frequenze. Le tecniche di modulazione maggiormente utilizzate sono: l' MSS (Modulation Spread Spectrum) e l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Nel primo sistema il segnale trasmesso viene volutamente allargato in banda rispetto a quella minima che sarebbe necessaria per trasmettere l'informazione. Il principio su cui si basa un sistema MSS è quello di produrre un aumento di banda di un fattore G senza diminuire il tempo di bit, ovvero rendere indipendente il bit rate dalla banda. Lo scopo principale è, quindi, quello di aumentare la banda del segnale trasmesso senza che questo incida minimamente sulle prestazioni del ricevitore.

L'altra tecnica utilizzata è l'OFDM, caratterizzata dalla suddivisione del segnale ad alta velocità, in molti flussi paralleli trasmessi a bassa velocità.

L'OFDM consente di raggiungere una elevata efficienza spettrale grazie all'utilizzo di portanti ortogonali che permettono la sovrapposizione parziale dello spettro delle sottoportanti, senza pregiudicare la ricostruzione del loro contenuto informativo in ricezione.

Alla fine del capitolo, vengono descritti i principali metodi di accesso multiplo che consentono ai diversi utenti di gestire la condivisione del canale di trasmissione.

Nel capitolo 2 vengono trattati i temi relativi ai protocolli di comunicazione ed ai dispositivi attualmente utilizzati. A tal proposito, nella prima parte, si fa riferimento agli standard adottati tenendo conto delle bande di frequenza utilizzate. In particolare, vengono descritti 5 protocolli, che sono: Konnex, HomePlug AV, ITU G.hn, PRIME e IEEE P1901. Si parte con il Konnex, nato dalla fusione per incorporazione dei tre consorzi europei Batibus, EIB e EHS, la cui tecnologia si basa sullo standard EIB ed è integrata dalla modalità di configurazione e dai mezzi di trasmissione di Batibus ed EHS. E' uno standard aperto nel senso che può essere sviluppato da chiunque per creare nuove soluzioni domotiche. L'Home Plug AV rappresenta l'ultima generazione della HomePlug Powerline Alliance. Questo protocollo fornisce alta qualità impiegando

tecnologie avanzate per la trasmissione arrivando fino a 200 Mbps e consentendo la sicurezza delle trasmissioni con una cifratura AES con chiavi a 128 bit. HomePlug AV è compatibile con HomePlug 1.0 e fornisce una buona connettività a livello di QoS.

L'ITU (International Telecommunication Union) ha approvato la tecnologia G.hn come standard di comunicazione a banda larga permettendo l'interconnessione di apparati multimediali nelle abitazioni.

G.hn supporta la comunicazione ad alta velocità su linee elettriche, linee telefoniche e su cavo coassiale; dovrebbe entrare definitivamente in produzione entro la fine del 2010. Vengono di seguito esposti il livello fisico e il livello Data Link.

Powerline Related Intelligent Metering Evolution (PRIME) è nato per sviluppare una soluzione per le telecomunicazioni in grado di sostenere la funzionalità AMM (Automatic Meter Management).

Basato sugli standard IEEE 802.16, IEEE 802.15.4 e IEC 61334, PRIME è stato creato per essere a basso costo e fornire alte prestazioni. Il primo dispositivo è stato reso disponibile a fine 2009, mentre la produzione di massa è stata prevista per il 2010.

Vengono di seguito esposti il livello fisico, il livello MAC ed il livello di convergenza.

L'IEEE P1901 è nato con l'obiettivo di sviluppare uno standard utilizzato per dispositivi PLC per connessioni di primo e ultimo miglio verso i servizi di banda larga (< di 1500 m), e nell'ambito di reti locali (< di 100 m tra i dispositivi).

Per quanto riguarda gli ultimi sviluppi del protocollo, il gruppo IEEE P1901, ha approvato una bozza per la definizione del livello fisico nel luglio del 2009 e, nel corso del 2010, è prevista la definizione del livello MAC e l'approvazione definitiva dello standard.

Nella seconda parte del capitolo, vengono analizzati i dispositivi basati sulla tecnologia powerline, in grado di veicolare il traffico di rete Ethernet sulla rete elettrica (220V) permettendo il collegamento fino ad un massimo di 255 pc con la possibilità di trasferire foto, musica, video, ecc.

Si mettono, infine, in evidenza le diverse tipologie di adattatori, che variano tra l'altro, per la differente velocità e si fa notare come l'ampiezza di banda, che inizialmente era a 14 Mbps, in seguito è aumentata fino ad arrivare ai 200 Mbps attuali anche se alcune aziende stanno sviluppando adattatori in grado di raggiungere la velocità di trasmissione fino a 500 Mbps.

Nel capitolo 3, si analizzano le varie problematiche relative alla tecnologia powerline, a partire dall'analisi di alcuni modelli di canale, in quanto la varietà di dispositivi che può

essere collegata alle prese di corrente, causa la variazione di impedenza che rende instabile il canale di trasmissione. Inoltre, tenendo conto del fatto che la funzione della rete elettrica è la distribuzione di energia e non la trasmissione di dati, si ha a che fare con un canale caratterizzato da un notevole livello di attenuazione e di rumore, che variano con la connessione e disconnessione dei vari dispositivi elettrici. Perciò, per progettare affidabili sistemi di comunicazione, è importante conoscerne il comportamento. In particolare, in questo capitolo, vengono presi in considerazione due tipi di approcci: Top-down e Bottom-up. Nel primo, i parametri sono ricavati in base alle misurazioni effettuate sul canale, mentre nel secondo, la risposta in frequenza del canale si ottiene a partire dalla conoscenza della topologia della rete, dai tipi di cavi utilizzati e dalla loro caratteristica. Per quanto riguarda l'approccio Top-down vengono descritti due modelli: un modello multipath con cui, una volta calcolati i parametri di trasmissione e di riflessione del circuito, è possibile valutare il comportamento della linea elettrica al variare della frequenza ed analizzare i parametri che lo caratterizzano; un modello ad eco con cui il comportamento del canale nel dominio del tempo viene descritto dalla sua risposta all'impulso e i cui parametri sono ricavati in base alle misurazioni effettuate sul canale.

Per quanto riguarda, invece, l'approccio Bottom-up vengono descritti altri due modelli: un modello a reti due porte, in cui la funzione di trasferimento di un canale di comunicazione powerline, si può descrivere utilizzando la teoria della matrice ABCD; un modello basato sulla teoria delle linee di trasmissione, il cui scopo è quello di suddividere la rete in semplici sezioni in cui la valutazione del rapporto di tensione è semplificato. In questo modo sarà possibile calcolare la funzione di trasferimento tra 2 nodi come prodotto della funzione di trasferimento di ogni sezione.

Successivamente, vengono esaminate le sorgenti di rumore più significative. La rete elettrica, a differenza di altri mezzi di comunicazione, infatti, presenta un livello di rumore caratterizzato da un'elevata variabilità nel tempo e nello spazio. In particolare, si distinguono cinque categorie di rumore: rumore di fondo colorato, rumore a banda stretta, rumore impulsivo periodico asincrono alla frequenza principale, rumore impulsivo periodico sincrono con la frequenza principale e rumore impulsivo asincrono. Successivamente viene affrontata la problematica relativa alla compatibilità elettromagnetica, in quanto la tecnologia powerline oltre che essere soggetta a disturbi, può essa stessa creare problemi di interferenza. A tal proposito, i dispositivi PLC, che utilizzano una banda di frequenza fino a 30 MHz su un mezzo condiviso non bilanciato

e non schermato, hanno impatti relativi alle emissioni nello spettro comunemente utilizzato dai servizi radio. Tra l'altro, il range di frequenza in cui le PLC trasmettono, aumenta la tendenza all'irradiazione dei campi elettromagnetici. I sistemi radio che possono subire interferenze, nella stessa banda occupata dalle PLC, sono: servizi di radiodiffusione, servizi radioamatoriali, servizi mobili, servizi fissi e servizi di ricerca e soccorso. Per limitare questi problemi, è necessario l'utilizzo di filtri. Un'altra problematica che riguarda la tecnologia PLC, e che viene trattata alla fine del capitolo, è la coesistenza tra i dispositivi utilizzati. Tre sono gli aspetti principali: coesistenza tra apparati di costruttori diversi, coesistenza tra apparati dello stesso costruttore e coesistenza tra gli apparati PLC ed altre tecnologie trasmissive.

Nel capitolo 4, viene descritto lo stato dell'arte delle PLC, in particolar modo l'applicazione della tecnologia nel settore dei mezzi di trasporto. Infatti, oltre che nei settori home e building automation, questa tecnologia sta destando un interesse sempre crescente anche per la trasmissione di dati ad alta velocità a bordo di mezzi di trasporto. Interesse che è dovuto al vantaggio che ne consegue, ovvero alla riduzione del cablaggio e quindi del peso a bordo con un evidente guadagno in termini di spazio disponibile. Nello stesso capitolo vengono presi in esame alcuni studi effettuati circa l'utilizzo della tecnologia PLC sulle automobili, sui treni e sulle navi.

Quando si fa uso di sistemi PLC in ambito automotive, in particolare, si deve tenere conto di due questioni da affrontare. La prima, è quella di realizzare un sistema di comunicazione diverso rispetto alle attuali tecnologie utilizzate nei sistemi automotive ed in questo caso è importante prevedere una adeguata larghezza di banda, tempi di risposta, tolleranza alle interferenze elettromagnetiche, ecc. La seconda questione da affrontare, invece, è quella di implementare un sostituto fisico dei bus di campo esistenti che sia trasparente a livello di applicazione; in questo caso, la PLC dovrebbe prevedere un simile comportamento temporale del bus originale. Inoltre, per uno studio più approfondito delle applicazioni PLC nell'ambito dell'automotive, bisogna prendere in esame altri due aspetti chiave.

Il primo riguarda la trasmissione fisica e la modulazione del segnale, legati allo studio del rumore ed alla compatibilità elettromagnetica sulla PLC, che è soggetta ad interferenze dovute a carichi non lineari, come ad esempio il telefono cellulare ed il sistema di accensione con le sue scintille. Il secondo aspetto, riguarda il Data Link Layer e i livelli superiori, per una corretta comunicazione tra i dispositivi, inerente la flessibilità e la riconfigurabilità durante il processo di design, set up e management.

Altra caratteristica di questo sistema è il determinismo della comunicazione in termini di garanzia dei tempi, considerando fattori come la trasmissione periodica, le deadline di messaggi end-to-end, ecc.

Un altro settore preso in considerazione in questo capitolo è quello ferroviario. I moderni mezzi di trasporto ferroviario, infatti, sono sempre maggiormente caratterizzati dalla presenza di dispositivi elettromagnetici. Alla sempre crescente richiesta da parte dei passeggeri di servizi di intrattenimento di bordo, come connessione internet ad alta velocità ed informazioni vocali sul viaggio per rendere più confortevoli gli spostamenti a lunga percorrenza, si aggiunge la necessità di aumentare la sicurezza a bordo, mediante l'installazione di dispositivi di sorveglianza. A tal proposito vengono riportati gli studi effettuati prendendo come possibile canale di trasmissione, la linea di telecomando e controllo, che ha la caratteristica di essere comune ad ogni tipo di treno.

Infine viene trattata l'utilizzo della tecnologia applicata alle imbarcazioni. Infatti, così come gli altri mezzi di trasporto discussi precedentemente, anche le navi da crociera e gli yachts, sono caratterizzati da un elevato numero di apparecchiature elettroniche, come sistemi di illuminazione, sistemi di sicurezza, pompe oltre che sistemi di intrattenimento a bordo, connessione ad internet, ecc. Inoltre, le navi da crociera, possono avere migliaia di cabine collegate da centinaia di chilometri di cavi.

In particolare, viene riportato un possibile modello di canale per la trasmissione considerando la rete elettrica della nave come un insieme multipolari. In questo ambito vengono riportati alcuni studi che hanno tenuto conto dell'analisi del dominio di wavelet, implementato con i parametri di Scattering.