

INDICE:

INTRODUZIONE.....	6
CAPITOLO 1 Nascita ed evoluzione delle PowerLine Communication.....	10
1.1 Introduzione.....	10
1.2 Cenni Storici.....	12
1.3 Normativa vigente e regolamentazioni.....	16
1.4 Standard in commercio.....	19
1.4.1 X-10.....	19
1.4.2 CEBus.....	19
1.4.3 LONWorks.....	20
1.4.4 PLUG-IN.....	20
1.4.5 Altri standard meno diffusi.....	21
1.4.6 Considerazioni.....	22
CAPITOLO 2 Il problema delle interferenze e le tecniche di trasmissione.....	25
2.1 Introduzione.....	25
2.2 Le linee elettriche ad alta frequenza.....	26
2.2.1 Comportamento alle alte frequenze (HF) della rete elettrica “indoor” a bassa tensione (BT).....	27
2.2.2 Comportamento alle alte frequenze (HF) della rete elettrica “outdoor” a bassa tensione (BT).....	29
2.3 Disturbi causati dalle PLC.....	33
2.4 Normative adeguate.....	35
2.4.1 Il “chimney approach”.....	35
2.4.2 Proposte di normative ETSI - CENELEC.....	36
2.4.3 Lo studio effettuato dalla NATO.....	37
2.5 Le tecniche di trasmissione.....	37
2.5.1 La tecnica di modulazione FSK.....	37
2.5.2 La tecnica di modulazione Spread Spectrum.....	38
2.5.3 La tecnica di modulazione OFDM.....	39
2.6 Le tecniche di condivisione del canale.....	44

2.6.1	Le tecniche FDMA, TDMA, CDMA.....	45
2.6.2	Organizzazione del MAC Layer.....	48
CAPITOLO 3 Applicazioni della tecnologia PowerLine Comunication.....		53
3.1	Applicazioni PLC.....	53
3.1.1	La Domotica.....	53
3.2	Le varie sperimentazioni sul territorio.....	54
3.2.1	L'esperienza Svizzera.....	54
3.2.2	Le sperimentazioni in Italia.....	55
3.2.3	Sperimentazioni PLC nel resto del mondo.....	57
3.3	Le applicazioni commerciali.....	58
3.3.1	Sistemi Wr@p e Leon@rdo di Merloni (Ariston).....	58
3.3.2	MyHome di BTicino.....	59
3.3.3	Il sistema "CentralTest" di Beghelli.....	61
3.3.4	Il "Telegestore" di ENEL.....	61
3.3.5	Il sistema "DomusTech" di ABB.....	63
3.4	Le reti PLC nel sociale.....	64
3.4.1	Il software "Domoticom".....	65
3.4.2	La casa per disabili di Savona, i progetti di Trento e delle altre città italiane.....	66
3.4.3	Il software "QualiHome".....	67
3.5	Lo sviluppo attuale della tecnologia PowerLine.....	68
3.5.1	I prodotti.....	68
3.5.2	Le associazioni dei produttori.....	75
3.5.3	Le tecnologie concorrenti.....	76
3.5.4	I limiti della tecnologia PowerLine.....	78
CAPITOLO 4 Sicurezza delle reti PowerLine.....		80
4.1	Introduzione.....	80
4.2	I sistemi di cifratura degli standard PLC.....	80
4.2.1	Il sistema DES a 56bit utilizzato nell'HomePlug 1.0.....	81
4.2.2	Il sistema AES a 128 bit utilizzato nell'HomePlug AV.....	84
4.2.3	Il sistema TRIPLE-DES a 168 bit utilizzato nell'UPA.....	87

4.3 Modalità di funzionamento dei cifrari a blocchi degli algoritmi DES, Triple-DES ed AES.....	88
4.4 Considerazioni.....	92
CONCLUSIONI.....	94
Bibliografia.....	96

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa tesi è quello di fornire una panoramica generale sulla tecnologia PowerLine Communication (PLC), analizzandone le origini, le evoluzioni, le problematiche e le varie applicazioni. La tecnologia PLC si basa sul principio delle onde convogliate e delle correnti portatrici di linea che permettono la trasmissione dei dati codificati sulle reti elettriche già esistenti. Le linee elettriche non sono state progettate per la trasmissione di dati, ma solo per convogliare l'energia e quindi segnali a bassa frequenza; ciò presuppone una certa ostilità del mezzo trasmissivo all'utilizzo nelle telecomunicazioni. Il vantaggio principale di questa innovativa tecnologia è dato dal fatto che la rete elettrica è molto estesa e raggiunge anche zone non coperte da altri servizi di telecomunicazione con ad esempio l'adsl; quindi per questo motivo si presta ottimamente per la copertura del cosiddetto "ultimo miglio". La rete di distribuzione dell'energia elettrica si divide in tre livelli: alta tensione (HV), media tensione (MV) e bassa tensione (LV) e le linee possono essere interrate o aeree. A seconda dei vari Paesi le linee elettriche presentano diverse caratteristiche sia per quanto riguarda la frequenza della rete e sia per la tipologia dei collegamenti.

La storia della tecnologia PowerLine risale fino ai lontani anni '20 quando si pensò di utilizzare i cavi ad alta tensione per controllare, in aree molto remote, lo stato della rete, evitando così di dover utilizzare costosissimi cavi pilota. Negli anni successivi furono introdotti diversi sistemi per il controllo e il monitoraggio dei carichi di rete, ma dobbiamo attendere fino ai primi anni '90 per trovare le prime sperimentazioni di reti PLC per la trasmissione dei dati. Infatti in questo periodo la britannica NORWEB iniziò la sperimentazione nella città di Manchester della prima rete telefonica attraverso la rete dell'energia elettrica, e successivamente inserì anche servizi di trasmissione dati a banda larga. Il progetto fu accantonato nel 1999 a causa delle varie problematiche dovute all'utilizzo di alte frequenze, ma in altri Paesi europei (soprattutto in Germania e Svizzera) sono stati avviati ambiziosi progetti ancora tutt'oggi operativi. Oggi stiamo assistendo ad un'ampia diffusione della tecnologia PowerLine soprattutto per quanto riguarda la sua applicazione in ambito domestico detta anche "indoor PLC" che permette tramite adattatori collegati alle prese di corrente, di trasformare l'impianto elettrico casalingo in una vera e propria rete locale LAN. La tecnologia PowerLine ha

invece trovato ostilità nella diffusione in versione “outdoor PLC”, ossia per la copertura dell’ultimo miglio. Ciò è stato causato sia da problematiche tecniche e sia dalla mancanza di una normativa adeguata. Infatti il problema delle interferenze alle alte frequenze è una problematica difficile da risolvere, perché va ad interferire con servizi molto diffusi come quelli di radiodiffusione, radioamatori, servizi di emergenza e militari. Per la trasmissione di dati ad alti rate bisogna obbligatoriamente usufruire di frequenze dell’ordine dei MHz, ma questo implica un alto livello di emissioni elettromagnetiche ed anche un alto valore di rumore. La mancanza, ancora ad oggi, di una normativa in merito ha frenato la crescita delle reti PLC che potrebbero essere un’economica e pratica alternativa alle attuali tecnologie a banda larga che sono monopolio delle compagnie telefoniche. In compenso negli anni la tecnologia PowerLine ha trovato ampio sviluppo nel campo dell’automazione domestica (domotica), dove non erano necessari alti rate trasmissivi, e per questo motivo si sono affermati vari standard come l’X-10, il PLUG-IN, il CeBus e il LONWorks.

Le tecniche di trasmissione utilizzate per la trasmissione dei dati su rete elettrica sono diverse e dipendono dal *rate* che devono raggiungere. Per le applicazioni domotiche che richiedono basse velocità trasmissive si utilizzano le tecniche di modulazione FSK ed SS, mentre per le applicazioni a banda larga si utilizza la modulazione OFDM. Per la condivisione del canale, e quindi per risolvere le problematiche di accesso multiplo, nelle reti PLC si utilizzano le tecniche TDMA, FDMA e CDMA anche se quest’ultima risulta la più idonea. In base a queste tecniche si organizza il livello MAC di un sistema PowerLine, che a seconda dei servizi che si vogliono offrire avrà diverse caratteristiche sia per quanto concerne gli schemi di trasmissione e sia per i protocolli di segnalazione che dovranno essere implementati. L’utilizzo della tecnologia PowerLine nel campo della domotica, viene in aiuto a tutte quelle persone meno fortunate, come i diversamente abili, rendendo semplici e confortevoli molte funzioni domestiche, e sia aumentando la loro sicurezza all’interno delle abitazioni. In merito sono stati sviluppati diversi applicativi e dispositivi, che verranno ampiamente trattati in questa tesi, insieme ai vari progetti sociali attivi tutt’oggi in Italia e nel resto d’Europa.

L’Enel in Italia è stata sempre all’avanguardia nel campo della tecnologia PLC, è stata infatti la prima compagnia di energia elettrica ad utilizzare questa tecnologia per la telegestione delle utenze. Con la sostituzione dei vecchi contatori con i nuovi elettronici

che implementano la tecnologia LONWorks di Echelon, Enel è riuscita a migliorare notevolmente la gestione dei carichi sulla propria rete. Nel campo delle reti PLC a banda larga, sempre Enel, ha avviato nel 2000 un'importante sperimentazione nella città di Grosseto, che poi si è “misteriosamente” frenata con il passaggio del progetto nelle mani della consociata Wind.

Attualmente, come precedentemente affermato, stiamo assistendo al crescere della tecnologia PowerLine nell'ambito delle reti domestiche su rete elettrica. La semplicità che richiede l'installazione di un adattatore PLC è notevole e ciò, insieme anche al fatto di non dover stendere nuovi cavi, sta spingendo a favore dello sviluppo di questa tecnologia. Nella trattazione sono stati comparati diversi tipi di adattatori PowerLine descrivendone i pregi e i difetti di ognuno. I maggiori produttori di apparecchiature informatiche, a causa della mancanza di una normativa e quindi di uno standard comune, si sono uniti formando delle associazioni per produrre dispositivi compatibili tra loro. Le più importanti organizzazioni che si sono venute a formare sono: l'HomePlug Powerline Alliance che ha definito i vari standard “HomePlug”, e l'Universal Powerline Alliance che ha definito lo standard UPA. I prodotti che implementano questi due standard non sono interoperabili, cioè non possono comunicare tra loro, e per questo si è venuto a formare un gruppo, l'IEEE P1901, al quale collaborano sia UPA che HomePlug, per cercare di creare definitivamente uno standard comune. La tecnologia PowerLine inizialmente era vista come una concorrente della tecnologia wireless; ora invece si può dire che queste due tecnologie sono complementari, cioè dove il segnale della rete wireless non arriva si può usare la rete elettrica per estenderne la copertura, ed addirittura sono in commercio adattatori PowerLine che integrano già un access point Wi-Fi.

Per quanto riguarda la sicurezza delle reti PLC, dobbiamo sempre fare la distinzione tra rete PowerLine “outdoor” ed “indoor”; per quanto riguarda la prima il problema della sicurezza non si pone, poiché un potenziale attacco richiederebbe attrezzature costosissime e molto sofisticate, ed inoltre dovrebbe essere sferrato dall'interno dei centri di gestione della rete elettrica. Invece per quanto concerne la sicurezza delle reti PLC domestiche, a seconda degli standard implementati nei vari dispositivi le opzioni di cifratura e sicurezza variano. Gli standard HomePlug 1.0 ed HomePlug 1.0 Turbo utilizzano l'algoritmo DES con chiave a 56 bit, mentre l'HomePlug AV usa la più

moderna crittografia AES con chiave a 128 bit. L'UPA invece implementa l'algoritmo TRIPLE-Des con chiave a 168 bit; comunque tutte e tre queste modalità di protezione offrono un ottimo livello di sicurezza per la tecnologia PowerLine ed inoltre il contatore dell'energia elettrica funge da "firewall naturale", attenuando il segnale della rete PLC domestica al di fuori dell'abitazione.

Lo scopo di questo lavoro è quello di fornire una buona base per un futuro studio più approfondito di questo argomento ancora oggi poco conosciuto; si ricorda che in questa sede si organizzeranno ed elaboreranno informazioni attualmente disponibili, utilizzate per illustrare i principi di funzionamento, gli sviluppi, le applicazioni e la sicurezza delle reti PowerLine Communication.

A completare il tutto è stata prodotta un'ampia ed esauriente bibliografia sull'argomento ad oggi disponibile.