

Università degli studi di Padova

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Triennale in
Meccanica e Meccatronica

POWER LINE COMMUNICATION (PLC) NELLE RETI ELETTRICHE DI DISTRIBUZIONE

RELATORE: Prof. Mattavelli Paolo

LAUREANDO: *Longhi Michele*

ANNO ACCADEMICO: 2013/2014

Vicenza, 26 settembre 2014

INDICE

Sommario	1
Introduzione	2
1.PLC: principi di funzionamento, classificazione e applicazioni	3
1.1.Breve prefazione sulla tecnologia PLC	3
1.1.1.La rete elettrica esistente	4
1.1.2.Smart-Grid	6
1.2.Principio di funzionamento	8
1.2.1.Tecniche di modulazione dei dati	13
1.3.Applicazioni	15
1.3.1.Architettura	16
1.3.2.Domotica e reti locali	18
1.3.3.Trasmissioni esterne	19
1.3.4.Rete ibrida Wi-Fi e Powerline	19
1.3.5.Teleriscaldamento e cogenerazione, altre applicazioni della tecnologia PLC	19
1.3.6.Esempi pratici di applicazioni della tecnologia PLC	21
1.4.Classificazione	21
1.5.Gli standard frequenziali	22
1.6.Limiti di Powerline	24
1.6.1.Interferenze	24
1.6.2.Costi	25
2.PLC nella lettura dei contatori ENEL	27
2.1.Contatore elettronico	27
2.1.1.I vantaggi	30
2.1.2.Protocollo LonWorks	30

2.2.Smart Metering	31
2.2.1.Un singolo chip per i contatori intelligenti	32
2.2.2.Smart-meter multi-servizio	33
2.2.3.Smart-meter, effetti negativi	34
2.2.4.Smart-meter: la nuova “rivoluzione mondiale”	34
2.2.5.Protocollo Meters&More	35
2.3.Contatori intelligenti e modem PLC per il risparmio energetico	35
3.Emissione dei disturbi da parte degli inverter fotovoltaici e potenziali interazioni	37
3.1.Impianto fotovoltaico	37
3.1.1.Caratteristiche tecniche	37
3.1.2.Funzionamento impianto fotovoltaico	38
3.1.3.L'efficienza delle celle solari	39
3.1.4.Dimensionamento	40
3.1.5.Il problema dell'intermittenza	41
3.1.6.I vantaggi nell'avere un impianto fotovoltaico	41
3.1.7.Interazione tra impianto fotovoltaico e tariffa bi-oraria	42
3.2.Inverter	43
3.2.1.Applicazioni dell'inverter	43
3.2.2.Caratteristiche	44
3.2.3.Inverter fotovoltaici per immissione in rete	44
3.2.4.Inverter appropriato per ogni impianto	46
3.2.5.Compiti inverter fotovoltaici	47
3.3.Disturbi	48
3.3.1.Disturbi elettromagnetici	49
3.3.2.EMI-ElectroMagnetic Interference	50
3.4.Conclusioni	57
Bibliografia	59

SOMMARIO

Lo scopo della tesi è fornire un panorama sullo stato attuale della tecnologia “PowerLine Communication”, nota anche come “Internet Elettrica”, che permette la comunicazione su reti elettriche di informazioni mediante la tecnica di modulazione dei segnali che si basa sul principio delle onde convogliate.

La nuova tecnologia permette di trasmettere i segnali portanti, codificanti le informazioni, sulle reti elettriche già esistenti: data la loro capillarità di distribuzione nel territorio, PLC rappresenta il futuro delle telecomunicazioni per la fornitura di servizi quali l’accesso alla rete Internet, l’audio, la telefonia, il video ondemand, le applicazioni di domotica, la realizzazione di reti locali per la telegestione ed il telecontrollo delle macchine automatiche.

L’impiego di questa tecnologia prospetta un elevato guadagno alle compagnie elettriche oppure ai soli proprietari o gestori degli impianti di distribuzione essendo capillarmente diffusi verso l’utenza finale, sia civile che industriale, ed ottimamente strutturati nelle dorsali con elevati margini di ridondanza e capacità trasmissiva.

L’analisi si sofferma poi nella lettura dei contatori ENEL e sul fatto che sfruttano proprio la tecnologia PLC per la trasmissione dei dati. In conclusione, dopo un breve cenno sugli impianti fotovoltaici, volgerà a termine discutendo gli inverter fotovoltaici e i disturbi che possono creare delle interferenze alle PLC.

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa tesi è analizzare lo stato attuale, sia progettuale che applicativo, della tecnologia "PowerLine Communication", abbreviata in PLC, commercialmente nota come "Internet Elettrica", la quale permette la trasmissione su reti elettriche di informazioni mediante il principio delle onde convogliate.

La nuova tecnologia permette di trasmettere i segnali portanti, in genere digitalizzati e trasmessi con protocollo IP, sulle reti elettriche già esistenti: data la loro notevole ramificazione nel territorio e verso l'utente finale, PLC rappresenta il futuro delle telecomunicazioni per la fornitura di servizi, specie ne "l'ultimo miglio", sia in ambito civile, quali l'accesso alla rete Internet, l'audio, la telefonia; sia in ambito industriale, quali la realizzazione di reti locali per la telegestione delle macchine automatiche o a controllo numerico, nonché degli impianti di segnalazione, emergenza e sicurezza.

Powerline è una tecnologia versatile ed integrativa: la sua applicazione, infatti, non elimina ma integra le reti di trasmissione dati già esistenti in ambito locale, sfruttando la rete elettrica a bassa tensione presente in tutte le abitazioni o uffici, combinandosi anche con quelle esistenti fra gli edifici, anch'esse prevalentemente in bassa tensione, risolvendo in tal senso pure il problema della copertura del cosiddetto ultimo miglio o local loop.

Pertanto uno degli scopi di questa analisi è di capire le effettive potenzialità della rete elettrica e le eventuali problematiche legate al suo sfruttamento per la trasmissione di servizi di telecomunicazioni.

Si presenteranno, poi, i contatori che Enel sta distribuendo in Italia da ormai diversi anni per la telelettura dell'elettricità consumata e che sfrutta proprio la tecnologia PLC per la trasmissione dei dati.

Completano la trattazione una panoramica generale sugli impianti fotovoltaici e in particolare modo sugli inverter utilizzati in tali impianti e sui disturbi che possono influenzare il funzionamento della PLC.

Augurando al lettore una piacevole lettura, ricordando che la presente trattazione ha il solo scopo di riorganizzare le informazioni attualmente disponibili, ovvero reperite, per illustrare i vari contenuti presenti nella tesi.

CAPITOLO 1

PLC: principi di funzionamento, classificazione e applicazioni

1.1. Breve prefazione sulla tecnologia PLC

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”.

Il potenziale delle powerline è quello di essere in grado di fornire non solo segnali di energia elettrica o di controllo, ma anche tutti i dati completi ad alta velocità.

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.

E' 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, per il basso indice di redditività finanziaria. Quindi considerando che la rete elettrica è diffusa praticamente ovunque se ne intuiscono le enormi potenzialità e il numero degli utenti interessati.

[1] 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 (Mega-bit-per-secondo) 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 cioè 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.

[2] Dunque PLC rappresenta il futuro delle telecomunicazioni per la fornitura di servizi, sia in ambito civile, quali l'accesso alla rete Internet, l'audio, la telefonia, il video anche on-demand, le applicazioni di domotica, permette inoltre a persone portatrici di disabilità di vario genere di poter usufruire di tutti i vantaggi della tecnologia moderna; sia in ambito industriale, quali la realizzazione di reti locali per la telegestione e il telecontrollo delle macchine automatiche o a controllo numerico, nonché degli impianti di segnalazione, emergenza e sicurezza.

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.

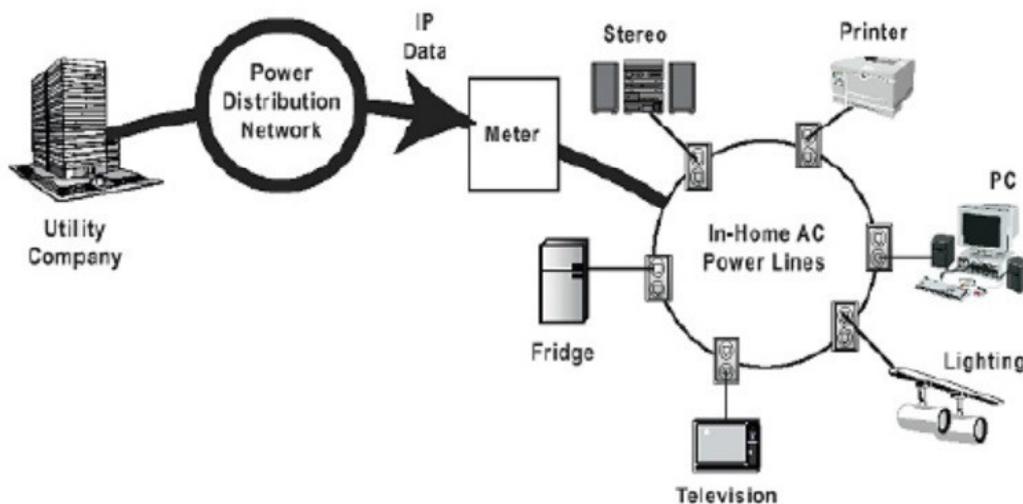


Figura 1.1: Powerline Networks

1.1.1. La rete elettrica esistente

Prima di addentrarci nelle specifiche tecniche delle Power-Line-Communications, è fondamentale svolgere una breve descrizione di ciò che permette tale tecnologia: la rete elettrica.

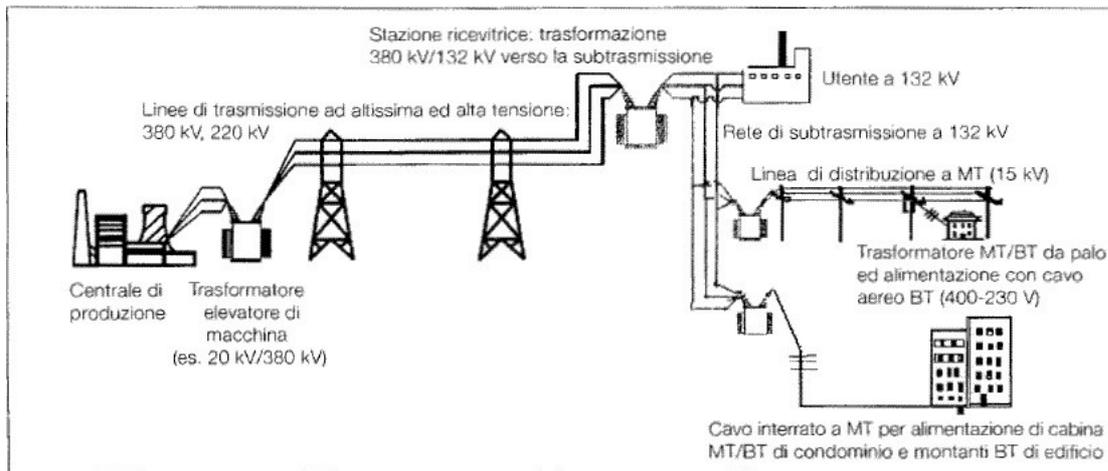


Figura1.2: Il percorso dell'elettricità dalla centrale al consumatore

[3]Il sistema elettrico tradizionale è formato da quattro blocchi principali: la generazione, la trasmissione, la distribuzione e l'utilizzazione. La rete elettrica consegna l'energia elettrica dai punti di produzione ai consumatori tramite i due principali sistemi: quello di trasmissione e quello di distribuzione. Gli elettrodotti portano l'energia ad altissima tensione (tra i 220 e i 380 kV) dalle centrali di produzione dell'energia elettrica fino alle stazioni ricevitrici alle porte delle città o dei distretti di distribuzione. Qui enormi autotrasformatori (con potenze che vanno dai 100 ai 400 MW) riducono la tensione secondo le esigenze della distribuzione primaria, con tensioni che possono essere di 150, 132 o 60 kV; attraverso elettrodotti aerei o in cavo, l'energia elettrica giunge negli impianti di trasformazione AT/MT (alta tensione / media tensione), denominati cabine primarie, dove, con trasformatori di potenza compresa tra i 10 e i 60 MW, viene ulteriormente abbassata ad una tensione che, a seconda dei distributori, può variare tra gli 8.4 kV e i 20 kV, per essere immessa poi nella rete elettrica a media tensione. L'elettricità prosegue su elettrodotti minori su tralicci e pali in aree di campagna, oppure in cavi isolati nel sottosuolo urbano, fino alle sottostazioni di media tensione (cabine secondarie). Nelle cabine secondarie di media tensione, altri trasformatori (con potenze comprese tra 50 e 1 MW) riducono la tensione al valore finale di consegna all'utente, in Italia 400 V trifase. Da questo punto fino al contatore dell'utente si può parlare di consegna di energia elettrica, la quale avviene utilizzando cavi isolati e, più raramente, su linee aeree su palo.

L'industria elettrica ha operato da sempre in modo differente e indipendente nelle sotto-reti di generazione, trasmissione e distribuzione, e questo ha portato a livelli diversi di sviluppo in

ognuna di esse.

La rete elettrica esistente è un sistema estremamente gerarchizzato. In questo sistema le aziende fornitrici non riescono ad avere un'informazione real-time sui parametri dei servizi che vengono offerti ai terminali. Inoltre, la rete è organizzata per far fronte ai picchi di richiesta di elettricità; questi picchi avvengono però in modo occasionale, così da rendere la rete inefficiente. Oltretutto, l'aumento nella richiesta di elettricità insieme al ritardo negli investimenti per migliorare la rete, ha portato a un peggioramento nella stabilità del sistema. In questo scenario, un'imprevista richiesta aggiuntiva, o un'anomalia nella rete di distribuzione, può portare a dei guasti che causano blackout. Ecco perché si fa ricorso al sistema di comunicazione "Smart-Grid".

1.1.2.Smart-Grid

[4]Per Smart-Grid si intende una rete elettrica in grado di integrare intelligentemente le azioni di tutti gli utenti connessi (consumatori e produttori, "prosumers") al fine di distribuire energia in modo efficiente, sostenibile, economicamente vantaggioso e sicuro.

La Smart-Grid utilizza prodotti e servizi innovativi assieme a tecnologie intelligenti di monitoraggio, controllo, comunicazione, al fine di facilitare la connessione e l'operatività di generatori elettrici eterogenei di qualunque dimensione e tecnologia, fornire ai consumatori strumenti per contribuire ad ottimizzare il funzionamento del sistema globale, dare ai consumatori maggiore informazione e potere di scelta, ridurre significativamente l'impatto ambientale dell'intero sistema elettrico e aumentare il grado di affidabilità e sicurezza del sistema elettrico.

Con il concetto di Smart-Grid viene superata la visione classica di rete elettrica. Non più una rete di distribuzione sostanzialmente passiva che trasporta l'energia in una sola direzione, da poche grandi centrali di generazione a tanti piccoli punti di consumo dislocati presso gli utenti finali. Non più solo un controllo centralizzato, con linee, interruttori, trasformatori, ma anche flussi di potenze bidirezionali e reti attive, fatte anche di elettronica, informatica e comunicazione.

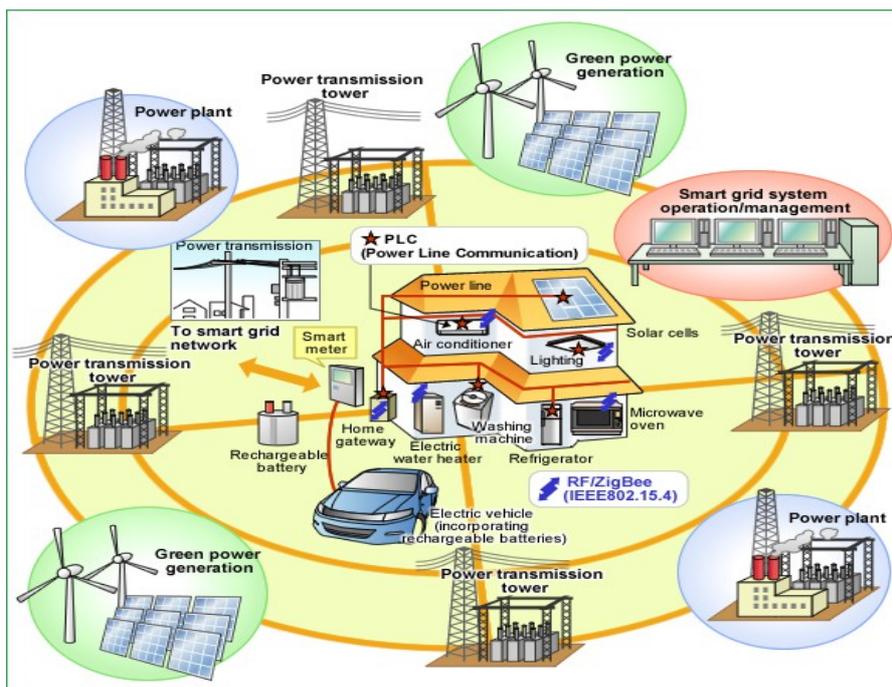


Figura 1.3: Il concetto di Smart-Grid

Con una tale trasformazione della rete di distribuzione è necessario gestire sia i flussi di energia prodotta dalle grandi centrali (termoelettriche, idroelettriche, ecc.), sia quelli da produzione di media e piccola entità da fonti rinnovabili (fotovoltaico, eolico, termico) superando anche le difficoltà connesse all'inversione di flusso sull'interfaccia AT/MT (cabine primarie) e sulle linee MT.

Sul piano del controllo la rete elettrica dovrà assomigliare ad una "internet of Energy" in cui ogni sistema di micro-generazione sia connesso in rete e in grado di comunicare e ricevere dati. In sostanza ogni casa, ogni utente potrebbe divenire un prosumer in un mercato aperto sia ai grandi distributori che ai piccoli utenti.

La necessità di rendere disponibili in tempo reale i profili di consumo/micro-generazione di utenti e gestori richiede l'introduzione di smart-meters (contatori intelligenti), il cui funzionamento verrà spiegato nel paragrafo 2.1, connessi ad una rete di comunicazione in banda larga in grado di gestire un flusso di monitoraggio e controllo bidirezionale.

Un software consente di disporre in ogni momento dei dati sui quantitativi di energia utilizzati in qualsiasi punto della rete, utilizzando la capacità di interconnessione per orientare e dosare i flussi di energia a seconda dei momenti e dei luoghi di maggiore o minor consumo.

L'impiego di tecnologie informatiche e di comunicazione (ICT-*Information and Communication Technology*) è quindi il volano per l'evoluzione delle reti in reti intelligenti

perché consente la comunicazione fra utilities e utenti finali, così come le tecnologie, le piattaforme informatiche e gli algoritmi di controllo distribuito necessari ad ottimizzare l'efficienza di tutti i sistemi coinvolti.

Inoltre le ICT possono garantire un nuovo livello applicativo di servizi basati sull'energia quali servizi di smart-metering, nuovi schemi tariffari, prepagato per l'energia, portali domestici per la gestione di consumi e generazione, sistemi automatici di acquisto, accumulo e vendita dell'energia elettrica, sistemi di bilanciamento della domanda e offerta di energia.

1.2.Principio di funzionamento

Come già accennato in precedenza, la tecnologia su cui si basa l'idea di fondo di PLC, è quella di utilizzare la rete elettrica come rete di telecomunicazioni.

Si può definire una “Internet elettrica”, la possibilità di accedere a Internet, di fare trasmissione dati e voce utilizzando appunto la rete elettrica, trasformando ogni presa di corrente in una presa dati o di telecomunicazione in senso più ampio. Infatti la connessione può arrivare in qualunque punto sia presente una presa elettrica e non occorre molto: un modem speciale (indoor adapter), non più grande di un autoradio che a sua volta dispone di porte per la connessione al telefono, al pc con una normale scheda di rete di tipo ethernet, o un televisore. La propagazione del segnale avviene attraverso i cavi dell'impianto elettrico installati nell'abitazione dell'utente. Il segnale raggiunge un secondo modem, collocato all'esterno dell'edificio e poi si dirige verso le cabine secondarie di trasformazione, a media/bassa tensione, che forniscono elettricità alle diverse abitazioni del quartiere. Nelle cabine dev'essere installato un apparato d'interfaccia che convoglia il segnale dalle reti elettriche all'impianto analogico di telecomunicazione (la tradizionale linea di rame).

[5]La tecnologia PLC trasmette i dati e corrente sullo stesso cavo, solo sull'ultimo miglio. Al di fuori di questa distanza la trasmissione dei dati, separati dalla corrente, avviene con metodi usuali. PLC è una tecnica basata sulla condivisione del “medio” ossia un'unica cabina di trasformazione fornisce a tutte le abitazioni sia corrente che dati. Questo, però, fa sì che i diversi utenti devono utilizzare la stessa banda di trasmissione rallentando la velocità di trasmissione del singolo utente. La tecnologia PLC permette di trasmettere informazioni ad alta velocità che va da 2 a 10 Mbit/s. Bit sta per “binary digit” ossia cifra binaria; il bit può assumere solo i valori 1 o 0 e i computer possono elaborare dati solo in forma binaria. Queste velocità sono un'enormità se confrontate a quelle dei modem analogici o alle linee digitali.

Altro vantaggio delle PLC è che la connessione è sempre presente. Oltre a permettere di

ricevere e trasmettere dati, la rete può comunque trasportare anche chiamate vocali. Se la tecnologia dovesse dimostrarsi efficace, il networking su powerline potrebbe crescere parecchio e le odierne aziende elettriche potrebbero diventare gli operatori di domani.

Con l'Internet elettrica si arriva direttamente in tutte le case. Non sono necessari cablaggi particolari, non è una tecnologia intrusiva, non c'è bisogno di rompere i muri per stendere delle LAN, poiché ci troviamo automaticamente una Local Area Network, formata da tutte le prese elettriche presenti nella nostra casa. Essendo poi ogni presa abilitata, possiamo tranquillamente spostarci da una stanza all'altra senza doverci portare dietro dei fili. L'Internet elettrica presenta da questo punto di vista una serie di vantaggi di familiarità, per cui è più facile da accettare. Ovviamente non ha i livelli di prestazioni di una fibra ottica, quest'ultima, a causa del costo elevato, non arriverà ovunque, ci saranno quindi delle zone dove sarà dispendioso portarla. Ci saranno zone che non saranno mai cablate, ma dove però la rete elettrica è già presente.

[1]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.

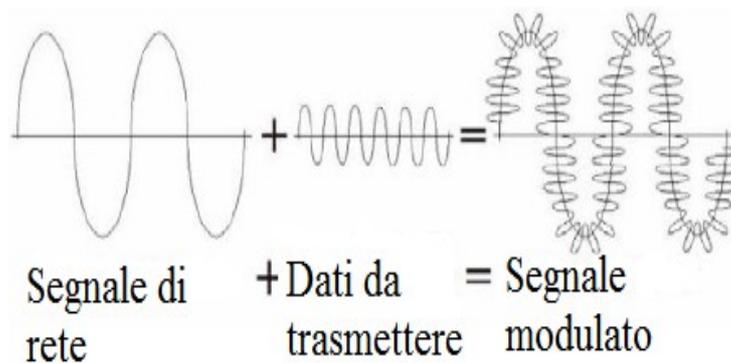


Figura 1.4: Abbinamento del segnale elettrico al segnale dati

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 a distanza gli utenti 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 sotto-portanti e queste possono convogliare le onde relative alle informazioni di medio/alta frequenza sul cavo dove si propaga il segnale elettrico di bassa frequenza.

In ingresso e uscita le due tipologie di segnali vengono separate da filtri che riconoscono le varie sotto-portanti 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.

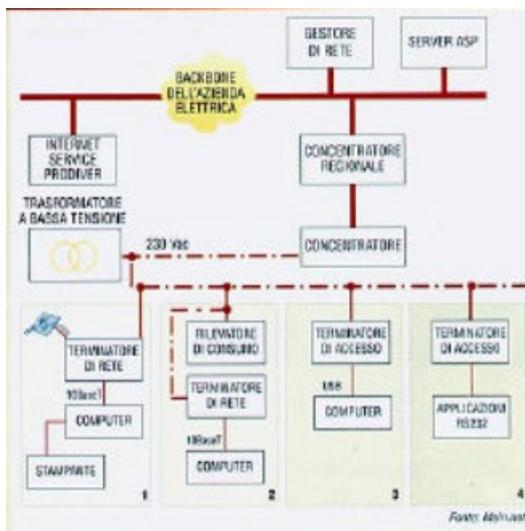


Figura 1.5: Esempio di infrastruttura per la comunicazione su rete elettrica

Nel diagramma di figura 1.5 si evidenzia un esempio di una generica configurazione per l'erogazione di servizi voce e Internet su rete elettrica.

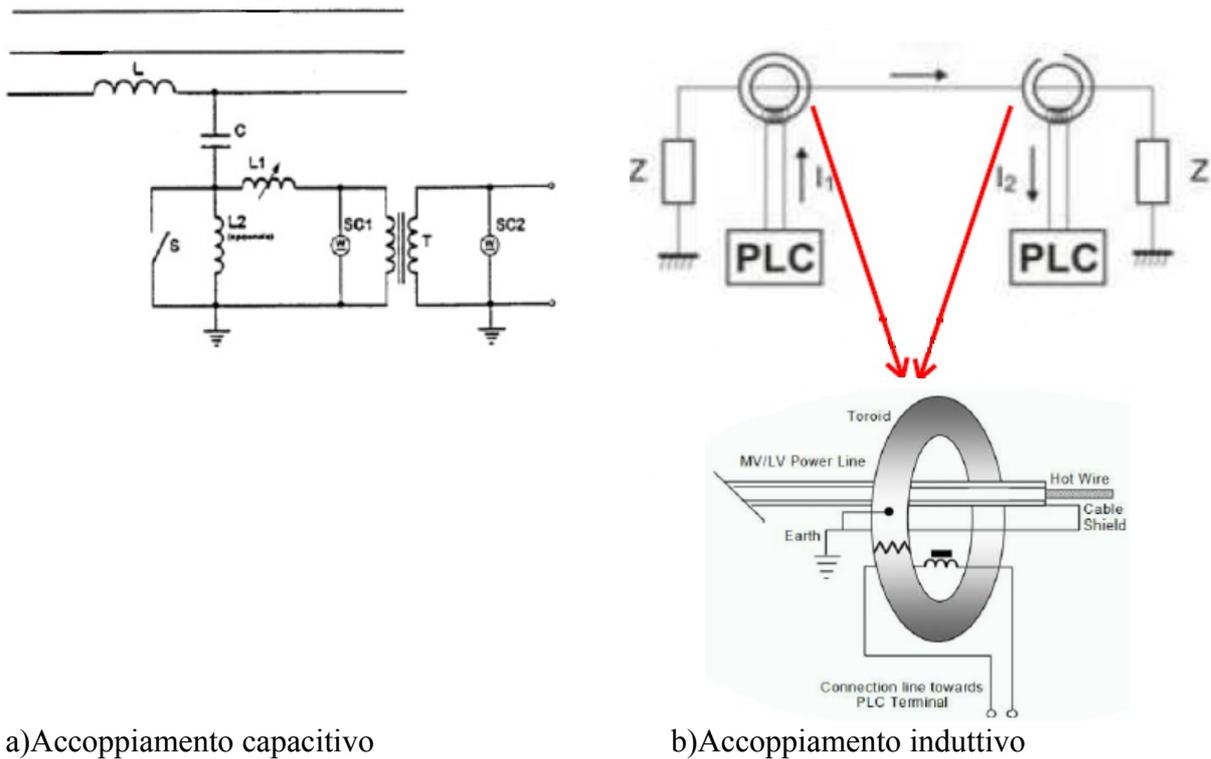
[2] Il personal computer è collegato via Ethernet a un terminatore di rete connesso a un telefono e alla rete elettrica, che fornisce servizi di comunicazione (1), a cui è possibile collegare anche un dispositivo integrato che offre funzioni per la rilevazione del consumo dell'elettricità (2). Il terminatore di rete può comunicare direttamente con un concentratore a bassa tensione installato nella sottostazione, oppure, per una configurazione multi-utente, con un terminatore di accesso (3 e 4) che interconnette ciascun edificio al concentratore. Quest'ultimo controlla l'accesso tra i terminatori e la rete a bassa tensione. Dalla sottostazione i dati viaggiano passando sulla rete a media tensione per poi giungere alla stazione principale da dove vengono poi indirizzati sul backbone dell'azienda elettrica (dove per backbone

s'intende un collegamento ad alta velocità di trasmissione tra due server o router di smistamento informazioni e appartenente tipicamente alla rete di trasporto di una rete di telecomunicazioni). Un concentratore regionale si incarica inoltre di collegare al backbone i segmenti provenienti dai diversi quartieri. Presso il centro di controllo della utility sono presenti infine un gestore di rete e un server per fornire le varie applicazioni.

Bisogna pur dire che le linee elettriche sono state costruite per trasportare segnali a basse frequenze; quindi il rame che le costituisce non è di eccellente qualità, cioè non è solitamente bonificato: inoltre, lungo il percorso del cavo/conduttore esistono diverse giunzioni che non disturbano la trasmissione dei segnali elettrici, perché a bassa frequenza, ma possono generare dei disturbi ai dati. Nonostante la scarsa qualità del supporto trasmissivo, dal punto di vista delle telecomunicazioni, i segnali digitalizzati possono sfruttare i cavi delle linee elettriche grazie proprio al principio delle onde convogliate. Il problema principale è quello di superare i molti trasformatori presenti nelle reti elettriche, in quanto è necessaria la continuità fisica per il trasporto del segnale convogliato in frequenza; inoltre è necessario limitare al massimo la potenza delle sotto-portanti onde evitare che i cavi, e la rete nel suo complesso, oltre che i supporti meccanici che la costituiscono, si trasformino in vere e proprie antenne e quindi generino campi elettromagnetici che vanno ad interferire con l'ambiente circostante, nuocendo sia alle persone, incompatibilità in senso ambientale, sia agli apparati, incompatibilità strumentale. Infine è necessario che le trasmissioni powerline non siano influenzate da altri tipi di trasmissione in frequenza per evitare che il segnale trasmesso venga talmente disturbato da non poter essere più trasmesso integralmente.

[6]Un altro problema consiste nel limitare la potenza di funzionamento dei PLC assicurando allo stesso tempo una larghezza di banda sufficiente, limitando gli effetti di disturbo e distorsione sulla linea. La soluzione: aggiungere un trattamento del segnale il più performante possibile ed effettuare l'accoppiamento ottimale della rete PLC alla rete elettrica. Esistono due metodi di accoppiamento :

1. accoppiamento capacitivo in parallelo sulla rete elettrica, questo metodo viene utilizzato nelle “narrowband PLC”, figura 1.6a;
2. accoppiamento induttivo attraverso un nucleo di ferriti, questo viene usato nelle broadband PLC communications per accoppiarsi con i cavi di potenza di media/bassa tensione sepolti o sospesi, figura 1.6b.



a) Accoppiamento capacitivo

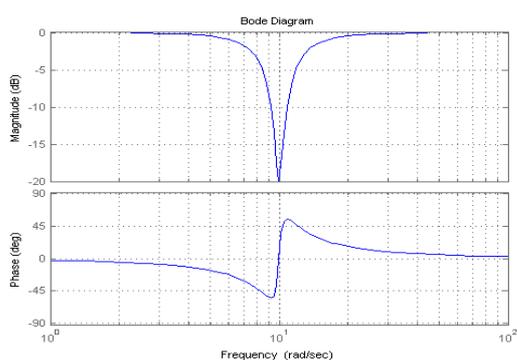
b) Accoppiamento induttivo

Figura 1.6: Metodi di accoppiamento

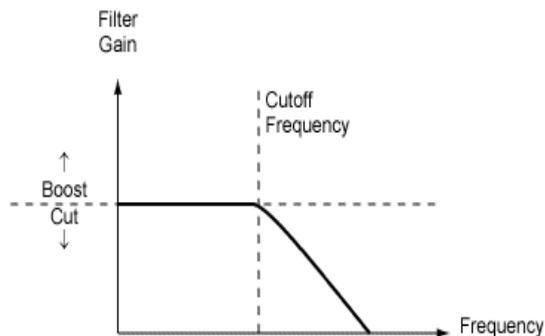
Per quanto riguarda le installazioni indoor, l'accoppiamento capacitivo è fatto per default al collegamento dell'apparecchiatura PLC alla presa elettrica, il problema si pone quindi per le installazioni outdoor, molto più complesse da realizzare.

[7] Un tipico esempio di rete di accesso a bassa tensione presente in Europa è quello in cui il canale della rete elettrica può essere visto come una struttura a stella in cui ogni braccio porta a un utilizzatore. Questa tipologia di rete porta a varie riflessioni che peggiorano la qualità dei segnali ad alta frequenza, portando dunque ad un canale selettivo in frequenza; tale comportamento è rappresentato dai filtri "notch", il cui andamento in frequenza del modulo e fase è rappresentato in figura 1.7a.

In aggiunta, anche l'attenuazione dipende dalla frequenza che deve essere considerata. Anche questo effetto deriva dalla topologia di rete e si sovrappone al comportamento selettivo in frequenza. Infatti, in tutti i collegamenti della rete elettrica si può osservare una caratteristica "low-pass", rappresentata in figura 1.7b.



a) Filtro notch



b) Filtro passa-basso

Figura 1.7: Rappresentazione grafica dei filtri

1.2.1. Tecniche di modulazione dei dati

Per avere un buon trasferimento di segnale, si utilizzano principalmente due tipi di modulazione:

1. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ;
2. Spread Spectrum.

1) OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

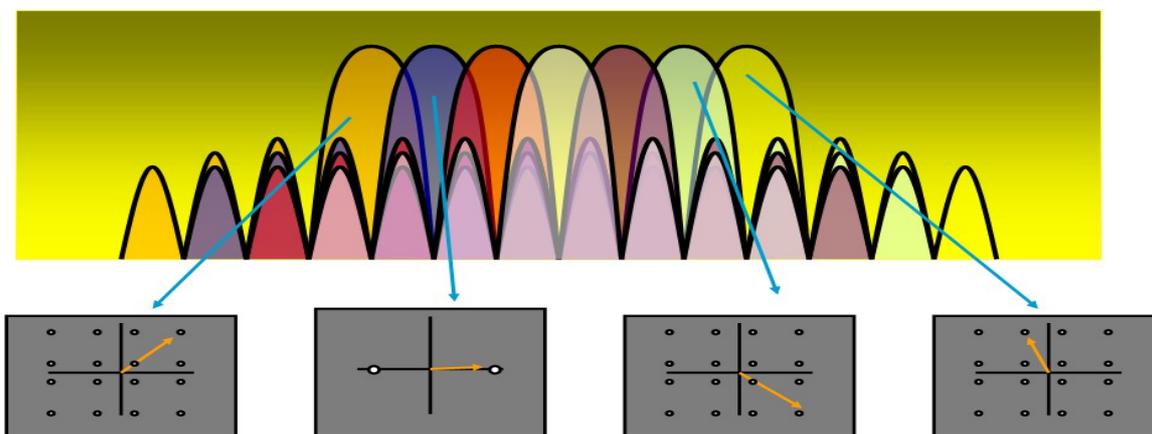


Figura 1.8: Modulazione OFDM

[8]La tecnica che attualmente sembra offrire potenzialità ancora maggiori con questo tipo di sistemi, è l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). L'idea alla base è quella di suddividere il flusso dati complessivo ad alta velocità che deve essere trasmesso in tanti flussi paralleli di velocità molto più bassa. Ognuno di questi va a modulare una ben precisa portante di una numerosa serie (dette anche sotto-portanti) tutte ravvicinate tra loro: queste, trasmesse

simultaneamente, finiranno così per occupare ciascuna una ristrettissima parte della banda complessiva a disposizione. L'ortogonalità che caratterizza anche il nome si ottiene distanziando tra loro le sotto-portanti dell'inverso dei bit rate di ogni una: questo fa sì che quando andiamo a fare la FFT (Fast Fourier Transform) del segnale ricevuto su un intervallo temporale uguale 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 (non si risente quindi di interferenza).

Se la banda occupata da ogni sotto-portante è sufficientemente piccola la risposta in frequenza del canale si può considerare piatta su quelle frequenze e quindi piuttosto semplice da equalizzare. Questo, rispetto al trasmettere su tutta la banda disponibile un unico flusso dati ad alta velocità, ci consente di evitare di lavorare in quelle zone di canale dove l'attenuazione ed il rumore sono più difficili da trattare. Il vantaggio di OFDM è di avere una buona protezione al disturbo impulsivo (come quello prodotto dalla commutazione nella rete di alimentazione) e l'uso efficiente della larghezza di banda. Commutando il canale in molti sottocanali a banda-stretta, l'OFDM risulta essere resistente contro la distorsione della risposta in frequenza.

2)SS: Spread-Spectrum, modulazione di ripartizione di spettro

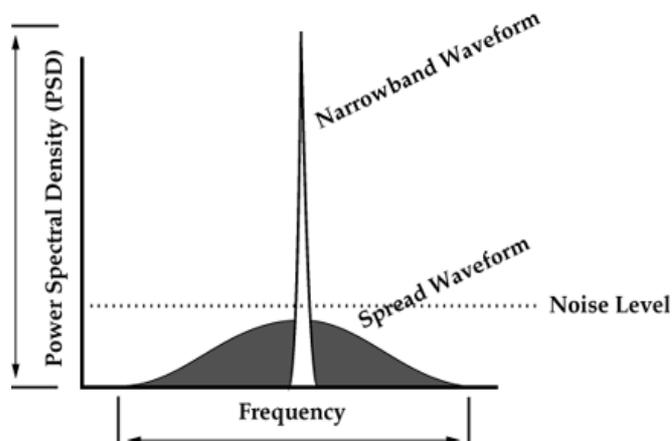


Figura 1.9: Modulazione di ripartizione di spettro

[6]Il principio del Spread Spectrum consiste nel « ripartire » l'informazione su una banda di frequenza molto più larga rispetto al necessario, con lo scopo di combattere i segnali di interferenza e di distorsione legati alla propagazione: il segnale si “confonde” con il rumore.

Il segnale è codificato alla partenza, ad ognuno degli utenti verrà affidato un codice per

permettere la decodifica all'arrivo. L'allargamento è assicurato da un segnale pseudo-aleatorio denominato “codice d'allargamento”. Alla ricezione il segnale è percepito come rumore se il ricevitore non ha il codice. La banda resta debole, dato che il segnale è stato emesso ad un livello più basso rispetto a quello del rumore. La modulazione con allargamento di spettro viene in questo modo ottimizzata per lottare contro il rumore, di cui ne limita gli effetti. Quando si fa il punto delle differenti soluzioni esistenti di oggi, si nota che quelle che usano la modulazione OFDM possono aumentare la capacità di trasmissione.

1.3.Applicazioni

[9]Il principale vantaggio delle PLC consiste nel fornire servizi di trasmissione dati in un qualsiasi punto di un edificio ove sia installata una presa elettrica, senza necessità di alcun cablaggio aggiuntivo. Quindi, oltre all'accesso ad internet, i principali sbocchi applicativi delle PLC sono da prevedersi nell'ambito dei servizi che sfruttano questo mezzo trasmissivo per l'integrazione come l'home automation e domotica. Ad esempio sarà possibile gestire la propria abitazione attraverso un portale accessibile in qualsiasi momento via internet o WAP per il controllo dei sistemi anti-intrusione o antincendio e di telecontrollo degli elettrodomestici. In pratica lo sviluppo del mercato è dato da tre settori: home automation, home networking e smart home:

- il 1° si occupa di automatizzare tutte le funzioni all'interno di una casa, introducendo nuove soluzioni tecnologiche al fine di migliorare apparati e prodotti già esistenti e di fornire nuovi servizi di utilità domestica;

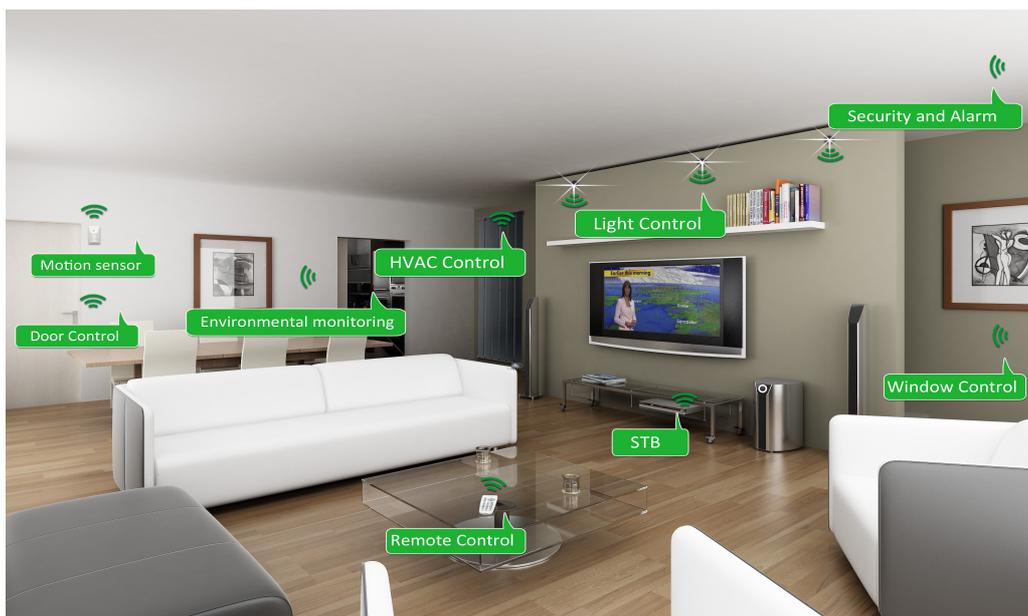


Figura 1.10: Home automation

- il 2° di collegare tutti gli elementi di una casa e di farli colloquiare a livello fisico, siano essi apparecchi intelligenti o non intelligenti, computer oppure elettrodomestici;

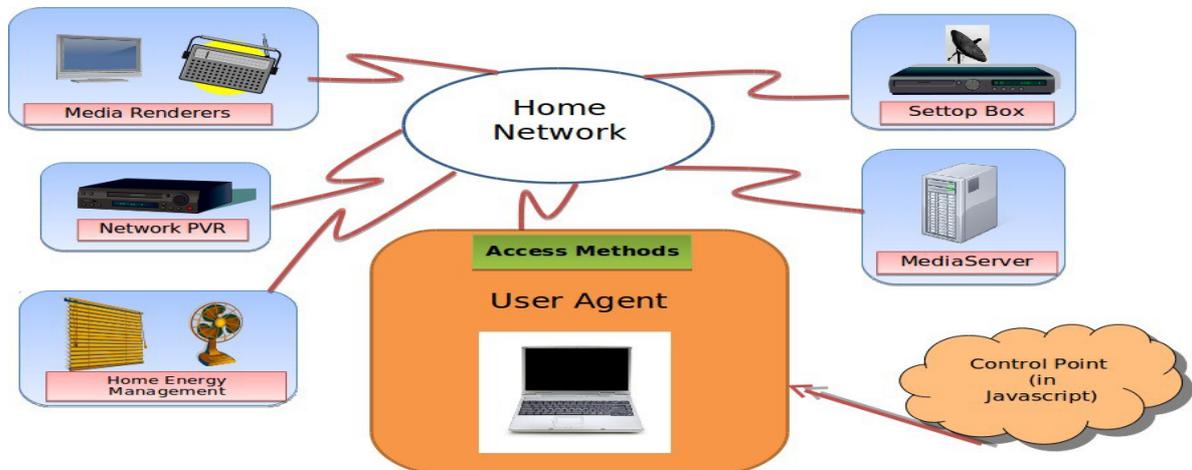


Figura 1.11: Home network

- il 3° di integrare, coordinare e controllare il tutto.

1.3.1. Architettura

Esistono principalmente due tipi di architettura diversificati dal fatto che si trovano all'interno di edifici o all'esterno:

- 1) architettura indoor;
- 2) architettura outdoor.

1) Le soluzioni PLC, di tipo *Homeplug* per l'indoor (vedi figura 1.12a), sono perfette per l'estensione della rete locale e per condividere l'accesso Internet di capacità elevata esistente, soprattutto in ambito casalingo o per le piccole imprese.

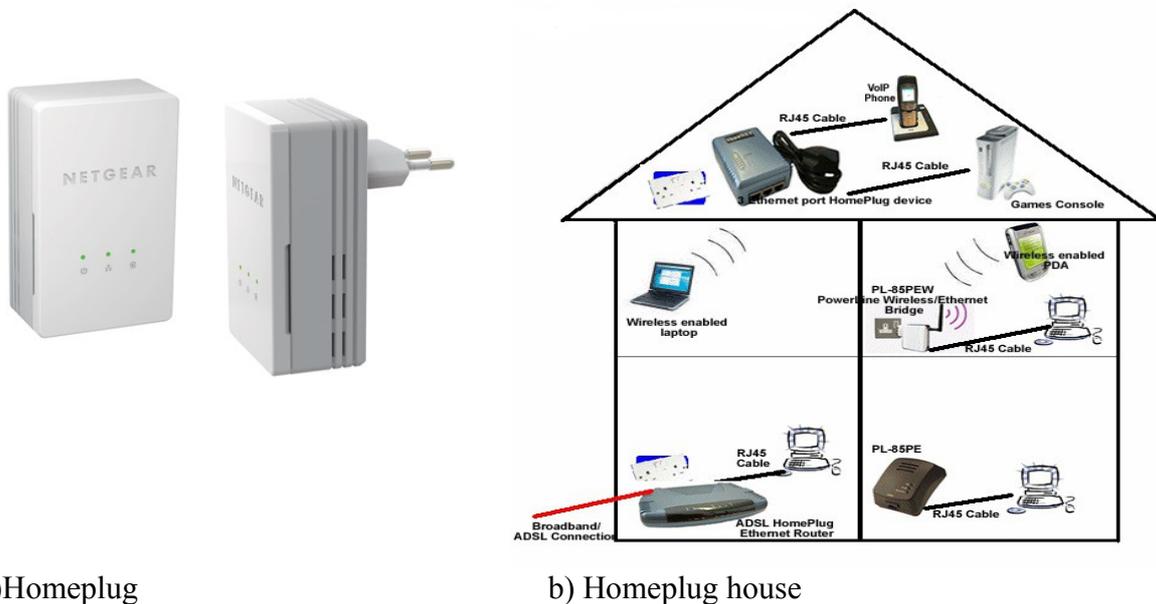
I "case PLC" si presentano solitamente con una porta ethernet o USB secondo il modello scelto, e una connessione verso la presa elettrica.

La realizzazione di una soluzione PLC indoor richiede a livello informatico una configurazione minima equivalente ad un PC con scheda Ethernet o una porta USB secondo il tipo di case:

- per la sistemazione di un case Ethernet, l'installazione è la stessa di quella di una rete

locale Ethernet via cavo;

- per l'installazione di un apparecchio USB, la configurazione si fa attraverso il driver fornito e una scheda di rete virtuale da configurare come la scheda Ethernet in rete locale.



a) Homeplug

b) Homeplug house

Figura 1.12: Architettura indoor

A livello elettrico, l'installazione all'interno di un locale dietro un computer monofase non pone nessun problema dato che gli adattatori si collegano direttamente alle prese elettriche. L'integrazione negli immobili invece è più complessa, sia che si tratti di un residenziale con un arrivo trifase e computer differenti, sia in costruzioni di grandi dimensioni, come scuole, ospedali o edifici dell'amministrazione. La realizzazione di una soluzione PLC «estesa» necessita quindi di una doppia competenza: esperienza sulla rete elettrica e su quella informatica, nonché nell'utilizzo di hardware diverso dai case Homeplug venduti per l'indoor.

2) Sono in corso alcune sperimentazioni per le installazioni outdoor, con un accoppiamento tra l'arrivo di Internet ad alta capacità e la rete elettrica attraverso un trasformatore AT/BT per la creazione di un circuito locale elettrico.

1.3.2. Domotica e reti locali

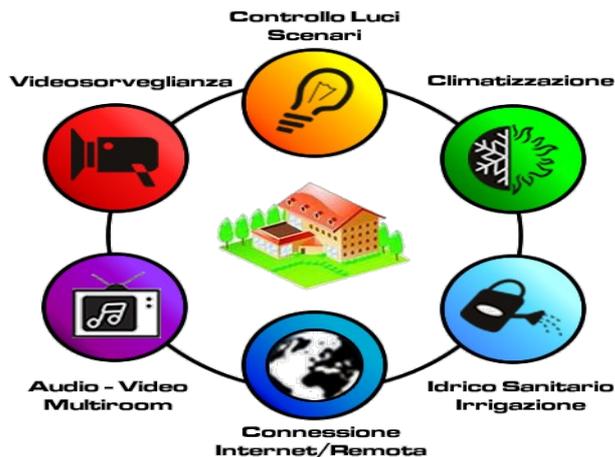


Figura 1.13: Domotica

[10]La tecnologia PLC viene utilizzata anche per la domotica con l'utilizzo di vari standard. Quelli più datati consentono trasmissioni con banda limitata e sono dedicati a semplici automazioni domestiche come l'accensione di luci o la realizzazione di impianti antifurto. Richiedono l'installazione di appositi moduli di interfaccia all'interno delle prese. Il vantaggio rispetto ai sistemi tradizionali sta, oltre che nel risparmio di parte del cablaggio, nella possibilità di modificare con estrema semplicità il funzionamento dell'impianto e nella possibilità di realizzare funzionalità "intelligenti".

Di recente è stato proposto in commercio un nuovo sistema domotico in tecnologia powerLine, denominato "PowerDom", che sfrutta, per la comunicazione dati, un segnale in modulazione FSK (vedi figura 1.14); inoltre il protocollo di comunicazione prevede un efficace algoritmo di controllo e correzione degli errori in grado di rendere affidabile la comunicazione per la realizzazione di tutte le funzioni di un impianto domotico di classe 1: sistema di allarme tecnico e anti-intrusione, controllo accessi, controllo remoto GSM, controllo luci e climatizzazione, gestione utenze e risparmio energetico, automazione di luci e oscuranti.

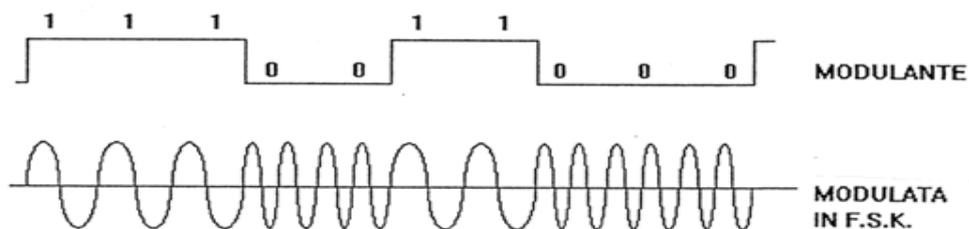


Figura 1.14: Esempio di modulazione FSK

1.3.3. Trasmissioni esterne

[11]Le compagnie di servizi pubblici utilizzano coppie di condensatori (con i quali vengono realizzati dei filtri passa-alto) per connettere trasmettitori radio a bassa frequenza a conduttori elettrici della rete elettrica. Le frequenze usate variano da 30 a 300 kHz con trasmettitori amplificati che elevano il segnale a centinaia di watt di potenza. Questi segnali possono essere diffusi sulle linee dell'alta tensione da uno a tre conduttori e ogni linea dell'alta tensione può supportare molti canali di comunicazione powerline. Alle sottostazioni vengono applicati dei filtri per evitare che le frequenze della portante attraversino gli apparati della centrale e per evitare che errori di trasmissione, dovuti alla distanza, non interessino neanche segmenti isolati di rete. Questi circuiti sono usati per il controllo dei dispositivi di commutazione e per la protezione delle linee di trasmissione.

1.3.4. Rete ibrida Wi-Fi e powerline

[11]La powerline può essere utilizzata per portare la banda larga a quelle utenze che sono interposte alla rete wireless da alberi, muri o altri ostacoli al segnale. Piuttosto che localizzare in alto il ripetitore se c'è un punto adeguatamente alto, o un improbabile traliccio per servire una singola utenza, è meno costoso collegare al ripetitore wireless più vicino un "convertitore" che invia il segnale su cavo elettrico, anche se l'apparato wireless è distante dalla cabina di bassa tensione.

L'Italia ha 7500 km di cavi elettrici, una delle reti più estese è quindi probabile che anche in presenza di un luogo impervio o di abitazioni isolate sia disponibile un cavo elettrico per powerline. Oltre a raggiungere con powerline le utenze più difficili da servire, la rete ibrida ha il vantaggio di rendere accettabile l'onere di coprire, via cavo, centrali a bassa tensione. In questo modo si risparmia la fibra ottica, collegando la centrale di bassa tensione con una serie di ponti radio fino alla centrale di media che viene cablata con fibra ottica. Diversamente dall'invio su cavo elettrico di rame, il segnale wireless mantiene qualità alta e basse latenze anche su lunghe distanze.

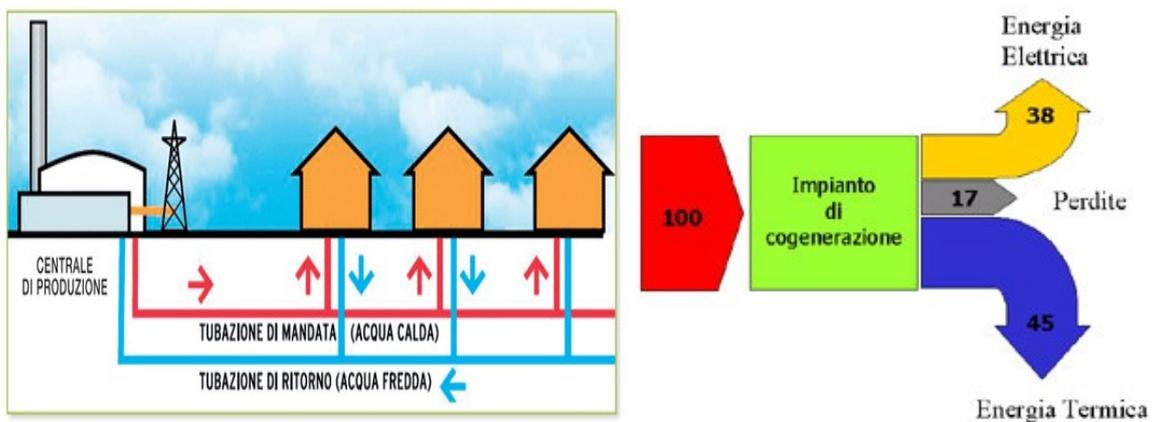
1.3.5. Teleriscaldamento e cogenerazione, altre applicazioni della tecnologia PLC

[12]“Il teleriscaldamento e la sua diffusione, ha detto Garbati (un noto ingegnere del settore) hanno già dato e possono continuare a dare un notevole contributo al target di riduzione delle emissioni di CO2 al 2020: nella città di Torino dal 1991 ad oggi sono stati allacciati 51 Mmc di utenza, con una riduzione complessiva di emissioni di CO2 pari a circa 900 mila tonnellate

all'anno".

Per capire meglio di cosa si sta parlando è necessario definire i termini teleriscaldamento e cogenerazione:

- teleriscaldamento (Tlr) significa trasporto a distanza del calore tramite acqua calda. Il calore a cui si fa riferimento è quello usato per scaldare gli ambienti nella stagione fredda tramite l'utilizzo dell'acqua calda; il calore del Tlr può anche essere sfruttato per il condizionamento nel periodo estivo.
- Cogenerazione: il calore deve essere prodotto e in Italia, per generarlo, si usa prevalentemente la combustione di idrocarburi, gas o gasolio. Esistono, naturalmente, diverse tecnologie più rispettose dell'ambiente, come la combustione di fonti rinnovabili, oppure la produzione combinata di energia elettrica e calore: la cogenerazione, appunto. Questa consente di produrre nel contempo quantità di energia elettrica e calore con un uso minore di combustibile rispetto alla produzione separata delle stesse quantità di energia.



a) Teleriscaldamento

b) Cogenerazione

Figura 1.15: Altre applicazioni di PLC

L'ingegner Garbati afferma inoltre: "Non solo i contatori, molti dei quali sono oggi telecontrollati, ma anche gli impianti correlati al TLR raccolgono informazioni in apposite banche dati da cui si possono ricavare elementi molto utili per il cliente oltre che per il fornitore".

E forse, verso i clienti, c'è qualche passo da fare: dalla modalità di prelievo dell'energia, alla diversificazione contrattuale in relazione ai consumi, alla chiarezza della bolletta fino all'interazione costruttiva bidirezionale.

1.3.6. Esempi pratici di applicazioni della tecnologia PLC

- Illuminazione piscina: la tecnologia PLC può essere usata per controllare apparecchi di illuminazione subacquea della piscina, luci per il paesaggio circostante, ecc. Il tutto è possibile grazie ad una singola stazione di controllo che utilizza il Powerline e nessun altro cablaggio aggiuntivo.
- Luci per il parcheggio: il controllo On-Off delle aree selezionate in grandi parcheggi non è possibile senza l'installazione di più elementi di controllo, e di collegamento e interazione con l'utente in più punti. PLC provvedono all'ottimizzazione del sistema che permette di controllare apparecchi di illuminazione individuali o apparecchi di illuminazione collettivi. Questo, permette di risparmiare i costi per cavi addizionali e apparecchi di controllo.
- PLC può essere usata come misuratore di potenza elettrica nelle abitazioni, supermercati, ed ambienti industriali per trasmettere informazioni sull'utilizzo di potenza in tempo reale, ad un sistema di fatturazione centralizzato.
- Consumo energetico di mercato: per il consumo energetico di mercato, la soluzione PLC permette la trasmissione, in tempo reale, di informazioni riguardanti il consumo di potenza di ogni applicazione presente in casa. In risposta a tali dati, il comando e controllo di apparecchi può essere fatto da qualsiasi segmento di infrastruttura Powerline esistente.

1.4. Classificazione

Giunti a questo punto è doveroso svolgere una classificazione delle power-line. [13] Si elencano qui di seguito i principali standard per le comunicazioni di tale tecnologia oggi esistenti:

- HomePlug: tecnologia che sfrutta la rete elettrica delle abitazioni per connettere gli strumenti dalla smart-grid alla Home Area Network (HAN);
- HomePlug Green, PHY: prevede networking su power-line a basso costo, sviluppato per applicazioni su HAN; si integra con dispositivi HomePlug;
- G3-PLC: mira all'interoperabilità, alla sicurezza della rete, alla robustezza e alla riduzione dei costi.

Definiamo inoltre le tre principali classi di tecnologie power-line, classificate in base alla banda di frequenze operative:

- UNB (Ultra-Narrow-Band): operano a data-rate molto bassi, dell'ordine dei 100 bps in frequenze di tipo ultra-low, da 0.3 a 3 kHz, o nella parte superiore della banda super-low frequency, da 30 a 300 Hz; sono adatte per l'utilizzo in aree di grandi dimensioni, potendo coprire distanze pari anche a 150 km o più. Sebbene il data-rate sia decisamente basso, i sistemi risultano molto scalabili grazie a tecniche di parallelizzazione; dunque le soluzioni UNB sono impiegate in centinaia di applicazioni;
- NB (Narrow-Band): operano nelle bande VLF/LF/MF (Very-Low-Frequency/Low-Frequency/Medium-Frequency, da 3 a 500 kHz) e si dividono a loro volta in due categorie: Low Data Rate (LDR), a portante singola, con data-rate di pochi kbps, e High Data Rate (HDR), multi-portante e con rate fino a 500 kbps;
- BB (Broad-Band): operano in bande HF/VHF (High-Frequency/Very-High-Frequency, da 1.8 a 250 MHz) e hanno data-rate che raggiungono le centinaia di Mbps.

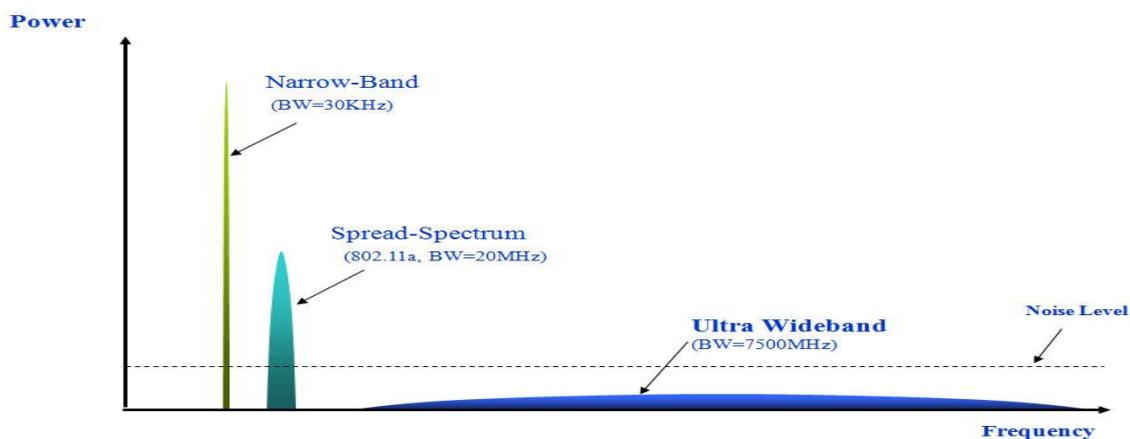


Figura 1.16: Narrow-Band

1.5. Gli standard frequenziali

[14] In Europa gli slot frequenziali a disposizione per eventuali sistemi di comunicazione su linee elettriche in bassa tensione sono quelli stabiliti dal CENELEC (Committee European de Normalisation Electrotechnique). Questa consente l'uso di un range di frequenze che va da 3 kHz a 148,5 kHz, suddiviso in 5 sotto-bande ciascuna con scopo diverso, secondo la norma EN 50065-1[*]:

- Banda A (da 40 kHz a 90 kHz) ad uso esclusivo delle industrie fornitrici di energia elettrica;
- Banda B (da 110 kHz a 125 kHz) per sistemi che richiedono presenza continua di canale disponibile, occasionalmente può essere utilizzata per inviare altri tipi di segnalazioni;
- Banda C (da 125 kHz a 140 kHz) per sistemi che funzionano in time sharing o a burst, e che quindi non occupano continuamente il canale;
- Banda D (da 140 kHz a 150 kHz) per sistemi di sicurezza e antincendio;
- Banda E (da 3 kHz a 8,5 kHz) ancora per sistemi che usano continuamente il canale.

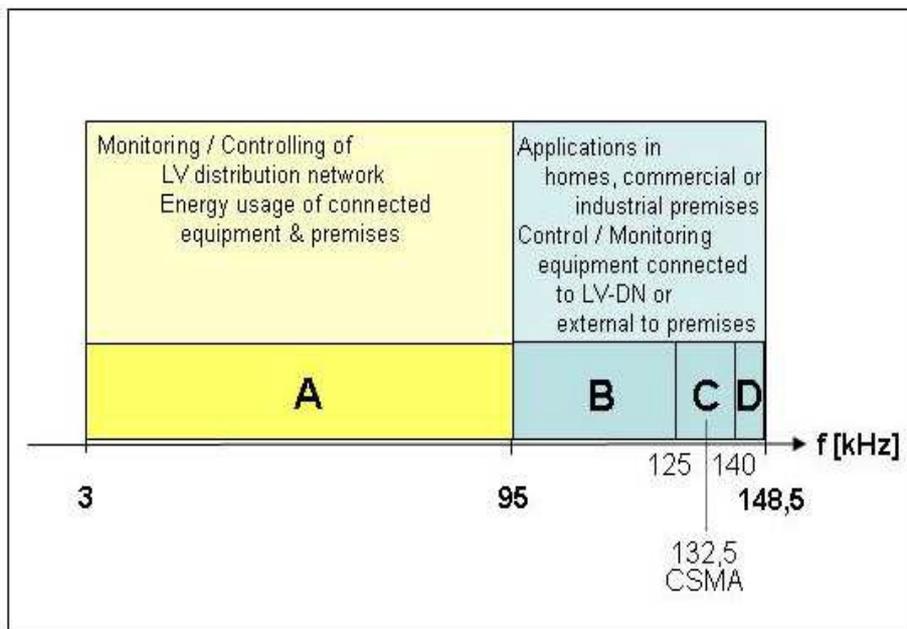


Figura 1.17: Standard frequenziali

L'allocazione della frequenza dipende da:

- collegamento esistente con la rete. Il livello di interferenza dipende dall'impedenza della linea. Quando due power-line sono vicine tra loro e viaggiano in parallelo per alcuni km, avviene un accoppiamento di segnale tra esse, di conseguenza i canali che lavorano alle stesse frequenze interferiranno tra di loro.
- regolamenti nazionali e internazionali. Essi possono restringere il campo d'uso delle frequenze per limitare l'emissione di onde che possono interferire gli utenti primari delle radio.

- attenuazione di linea, che è generalmente migliore a basse frequenze.

Come si vede nella figura 1.18, attualmente i limiti di emissione sono fissati solo per:

- emissioni non intenzionali di apparecchi di illuminazione (CISPR 15, EN 55015[**]);
- emissioni non intenzionali di apparecchi di cottura ad induzione (CISPR 11, EN 55011[***]);
- segnali intenzionali di apparecchiature di rete (EN 50065-1[*]) in comunicazione;
- non intenzionali (spuri).

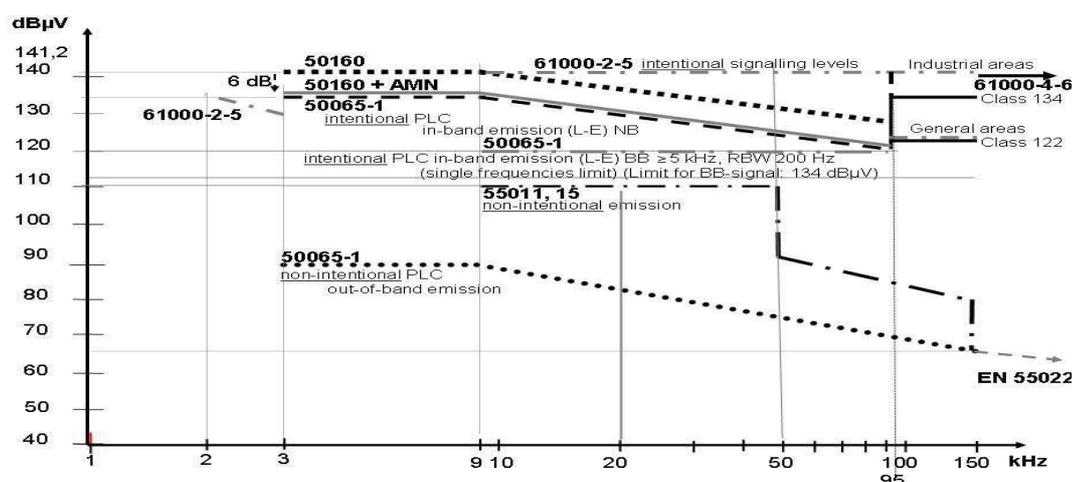


Figura 1.18: Situazione attuale di standardizzazione per la gamma di frequenze 2 kHz - 150kHz

1.6.Limiti di powerline

1.6.1.Interferenze

[5]Fra i maggiori oppositori alla diffusione di questa tecnologia vi sono le emittenti radio. Anche se i cavi powerline sono intrecciati e schermati (quindi producono un campo elettromagnetico debolissimo), essi sono sostanzialmente delle antenne che teoricamente disperdono (irradiano) e assorbono (ricevono) energia sulle frequenze radio.

Non poche radio a diffusione locale infatti trasmettono onde nell'intorno dei 100 kHz, esattamente la stessa frequenza del segnale elettrico, degli elettrodomestici e dei pacemaker, con i quali vi sono interferenze. Sia televisioni che compagnie elettriche scelgono queste frequenze potendo coprire distanze maggiori che in altre bande.

Le compagnie elettriche d'altro canto usano queste stesse frequenze in quanto riescono a ridurre ad un 2-3% della potenza erogata, le perdite di energia elettrica in calore per l'effetto Joule.

La potenza elettrica irradiata per la powerline è solamente di pochi watt e il conseguente campo magnetico indotto è quindi paragonabile a quello dei cellulari ed è molto inferiore a quello di radio e TV. Il grosso della potenza transita comunque come segnale elettrico su cavo.

Ad ogni modo piuttosto che dire che la powerline interferisce con queste tecnologie è più esatto parlare di interferenze reciproche fra queste tecnologie dato che anche powerline subisce le interferenze da altri sistemi di rete. Infatti al di là dell'uso del segnale la corrente elettrica e le emissioni radio-televisive derivano o producono entrambe un flusso ordinato di elettroni e un'interferenza toglie qualità a entrambi. Ulteriori approfondimenti verranno esposti nel prosieguo della tesi.

1.6.2. Costi

[11]In Svizzera la tecnologia powerline ha raggiunto negli ultimi anni una delle maggiori diffusioni in Europa in termini di utenze collegate e di percentuale di copertura del territorio. Varie municipalizzate dell'energia elettrica hanno iniziato a commercializzare tariffe powerline con una banda che varia da un taglio minimo di 300 kbit/s ad un massimo di 2 Mbit/s. Le tariffazioni sono flat 24 ore e non includono la fonia vocale. Non troviamo banda minima garantita ed il costo oscilla da 25 a 85 franchi svizzeri (circa da 15 a 50 euro) per il taglio da 2 Mbit/secondo: le tariffe sono dunque paragonabili al prezzo di mercato di un'ADSL da 2 a 4 megabit, che è intorno ai 35 euro mensili.

Il prezzo imponibile all'utente è anche dovuto alla particolare architettura di rete scelta dal provider. In particolare si è scelto di collegare in fibra ottica le centrali di bassa tensione (130 volt in Svizzera; 230 in Italia da una decina d'anni) e di inviare traffico Internet insieme alla corrente elettrica su cavo di rame soltanto per l'ultimo miglio. In questo modo la qualità della powerline è paragonabile ad ADSL o fibra ottica, ma lievitano i costi d'impianto. Infatti il numero di centrali telefoniche sparse sul territorio da cablare in fibra ottica è 4-5 volte minore delle centrali elettriche di bassa tensione; d'altro canto il DSLAM (Digital-Subscriber-Line-Access-Multiplexer) necessario per l'ADSL ha un costo più alto degli apparati da installare per la powerline nelle cabine elettriche (un semplice splitter più qualche eventuale ripetitore),

ma lo scavo e i chilometri di fibra ottica necessari al soddisfacimento del primo caso sono molti di più.

Un'alternativa, come detto, è portare la fibra ottica nelle centrali di media tensione (in numero inferiore a quelle di bassa tensione) e da qui il traffico internet sulla rete elettrica. La distanza non diminuisce la banda disponibile, ma introduce un tempo di latenza del segnale di centinaia di millisecondi. I ping della powerline misurati sono infatti addirittura peggiori di una connessione via satellite.

La tecnologia evolve verso un aumento della banda dei cavi in fibra ottica da frazionare verso gli utenti, ma non risolve questo problema di latenza sulle lunghe distanze. Dagli attuali 40 Mbit/s di banda per cavo in fibra ottica si iniziano a commercializzare cavi con 85 Mbit/s di banda. In laboratorio si sono già raggiunte velocità di 100 Gbit/s, ma non sono ancora commercializzate.

La tecnologia si diffonde lentamente perché interferisce su frequenze militari, mentre il segnale Internet è a sua volta fortemente disturbato dai continui sbalzi di tensione della corrente elettrica dovuti al fatto che è alternata e non continua e, dal lato degli utenti, dalla semplice accensione di apparecchiature elettroniche.

Capitolo 2

PLC nella lettura dei contatori ENEL

2.1.Contatore Elettronico



Figura 2.1: Contatore Enel

Il percorso di Enel verso l'innovazione è iniziato 10 anni fa con il progetto “Telegestore”, che rappresenta un primato dell'azienda a livello internazionale.

[2]Il “Telegestore” è il nuovo contatore digitale che Enel sta progressivamente inserendo nelle nostre case al posto di quelli tradizionali, e permettono: una maggior precisione nella fornitura dell'energia; un più preciso controllo dei carichi; la telelettura, eliminando fra l'altro la figura del “letturista”; il monitoraggio istantaneo dei consumi e dei relativi costi; la realizzazione di report sui consumi settimanali, mensili, per singola abitazione, per scala o condominio, incentivando anche la pianificazione con strategie volte al risparmio anche su scala per limitare al massimo le contestazioni connesse a fatturazioni basate su consumi presunti; la possibilità di applicare tariffe diversificate per orari o per carico usufruito dall'utente.

Esteticamente bianchi, a differenza di quelli usuali che erano neri, contengono il modulo elettronico per la demodulazione del segnale convogliato; incorporano un differenziale, che però comporta problemi di selettività agli installatori ed impiantisti; permettono all'utente, con un visore LCD, la lettura di diverse informazioni. Sono gestiti direttamente dall' ENEL dalla centrale mediante onde convogliate e sono composti principalmente dai seguenti

componenti:



Figura 2.2: Il telegestore Enel

1. il contatore elettronico, per la misura del consumo dell'energia elettrica, la comunicazione da remoto dei dati relativi alla lettura e la gestione a distanza del cliente;
2. il concentratore, installato in ciascuna cabina secondaria, che consente di raccogliere i dati registrati dai contatori ad esso collegati;
3. il sistema centrale, raccoglie ed invia i dati a tutti i concentratori e gestisce il sistema;
4. la centrale operativa, gestisce l'acquisizione dei dati di misura e le operazioni contrattuali con il contatore elettronico.

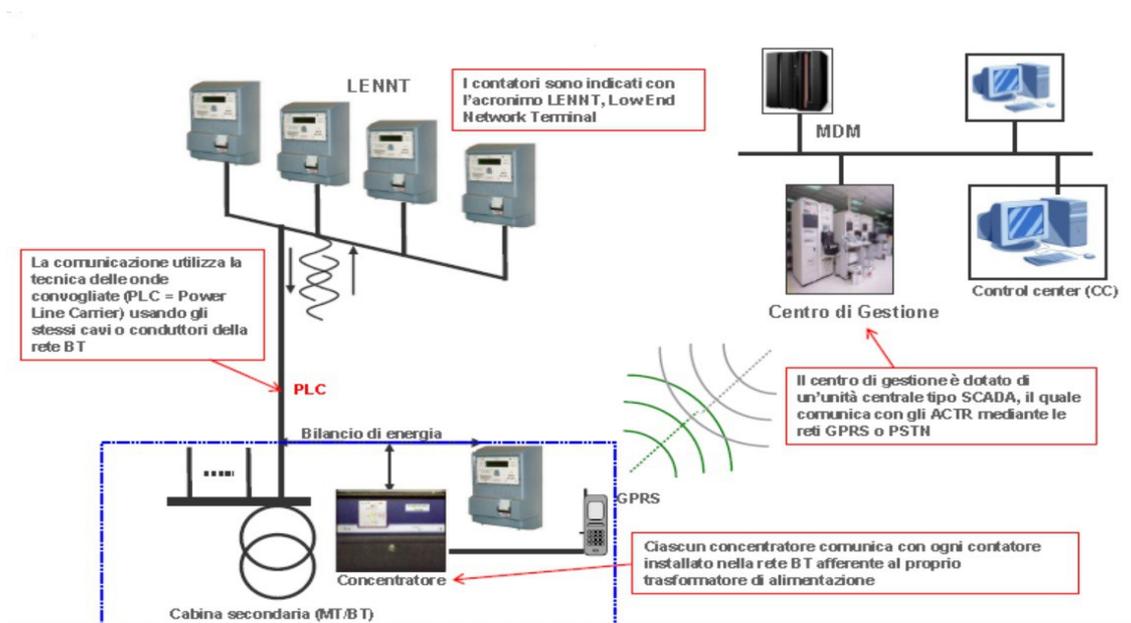


Figura 2.3: Architettura del sistema di telegestione

La caratteristica particolare è la gestione precisa della limitazione della potenza erogata sulla linea servita: essendo governata da un microprocessore, non permette più di approfittare, come nel passato, di un certo lasco nella taratura che rimane quindi fissata, secondo normativa, esattamente al 10 % dalla soglia contrattualistica.

[15]Con il telegestore è stato possibile introdurre un sistema di tariffazione nuovo e flessibile, adattabile ad ogni esigenza, infatti con il passare del tempo sono state proposte le tariffe multi-orarie, 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.

E' importante però fare una precisazione nella limitazione della potenza erogata. Infatti, ti permette di sviluppare una maggiore consapevolezza di quanto e come stai consumando e, di conseguenza, di scegliere la tariffa più conveniente per le tue esigenze.

[16]Inoltre, offre all'azienda elettrica la possibilità di effettuare in modalità automatica e da remoto operazioni di modifica contrattuale (nuovi allacci, cessazioni, subentri, ecc.) senza intervento dell'operatore e senza causare disturbo.

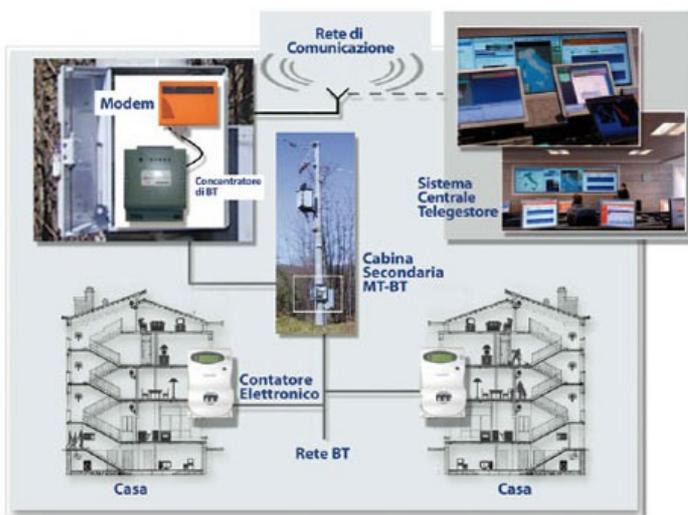


Figura 2.4: Telegestione

Ma il Telegestore non è soltanto un sistema elettronico che permette di leggere a distanza i consumi. La telegestione abilita nuove funzionalità per misurare gli scambi di energia in entrambi i sensi (energia consumata ed energia eventualmente prodotta dal cliente). Inoltre il Telegestore si integra totalmente con i sistemi informatici tradizionali e valorizza la rete

elettrica come mezzo per scambiare informazioni: in questo modo viene offerta al cliente l'opportunità di usare l'energia in modo più razionale e consapevole.

Il Telegestore rappresenta quindi un tassello fondamentale verso una rete elettrica intelligente dove consumatori e produttori di energia potranno usufruire di servizi innovativi finalizzati a migliorare l'efficienza energetica e a salvaguardare l'ambiente.

Le principali funzionalità:

- Telelettura da remoto con relativa sincronizzazione della marca oraria;
- Programmabilità da remoto delle fasce orarie;
- Registri dedicati su base giorno, settimana, mese, stagione;
- Programmabilità da remoto delle caratteristiche contrattuali dell'utenza;
- Gestione remota dell'utenza (distacco, attivazione, riduzione potenza);
- Gestione di registri "a scalare" per applicazioni tipo prepagato;
- Gestione di appositi registri di stato ai fini antifrode;
- Acquisizione delle interruzioni dei clienti BT disalimentati a seguito di guasti sulla rete AT/MT/BT.

2.1.1.1 Vantaggi

[18]Il contatore intelligente e il sistema di telegestione hanno portato:

- trasparenza sui consumi: basta premere il pulsante sul display a cristalli liquidi per conoscere in ogni momento quanto si sta consumando;
- semplicità di gestione: le operazioni contrattuali sono gestite da remoto, senza intervento dell'operatore e senza alcun disturbo per il cliente;
- rispetto per l'ambiente: decine di migliaia di tonnellate di CO2 vengono evitate ogni anno grazie all'efficienza nella gestione delle operazioni da remoto;
- facilità di scelta tra le offerte disponibili sul mercato: senza sostituire il contatore.

2.1.2. Protocollo LonWorks



Figura 2.5: Stemma LonWorks

La base di funzionamento del contatore Enel è il protocollo LonWorks, sul quale viene radicata la tecnologia powerline molto diffusa in tutto il mondo ed anche in Italia, appunto con il telegestore. [19] LonWorks è una tecnologia di comunicazione digitale su Bus creata per garantire ottime prestazioni, alta affidabilità, buona flessibilità. La tecnologia si basa su un protocollo originariamente sviluppato da Echelon Corporation per dispositivi di rete che potessero comunicare utilizzando diversi tipi di connessioni fisiche come doppino, onde convogliate, fibra ottica, trasmissioni radio, ecc. Dopo una rapida diffusione in sistemi di automazione di edifici, in particolare nei sistemi di illuminazione, di condizionamento e riscaldamento, di controllo accessi, allarme ed antincendio, la tecnologia LonWorks si è in seguito affermata anche in settori industriali, in sistemi di contatori intelligenti ed ora anche nella domotica e nell'automazione dei sistemi di illuminazione pubblica.

Dati i vantaggi intrinseci della tecnologia LonWorks, negli ultimi anni è sempre più spesso utilizzata in sistemi di gestione energetica, in particolare per ridurre i consumi energetici e allo stesso tempo abbassare i costi e la frequenza di interventi di manutenzione.

2.2. Smart Metering

Lo Smart-Metering rappresenta un elemento decisivo per la trasformazione della rete elettrica in Smart-Grid. Esso infatti, consiste in un sistema di monitoraggio della rete, mediante l'impiego di sensori, che permette di ottenere informazioni sullo stato del servizio, sull'energia consumata e sui relativi costi. Risulta dunque uno strumento che, sfruttando le tecnologie informatiche e di comunicazione, consente di regolare non solo il flusso energetico ma anche quello informativo, ricoprendo un ruolo determinante per quanto riguarda il controllo distribuito. Infatti, nel caso di malfunzionamenti della rete può consentire alla compagnia distributrice di intervenire da remoto, riducendo costi e tempi di intervento.



Figura 2.6: Contatore Enel

[20]Lo Smart Metering prevede l'impiego di due importanti tipi di dispositivi: Smart-Meter e Smart Concentrator. Uno Smart Meter ,come già detto in precedenza nel paragrafo 2.1, è un contatore “intelligente” che ubicato in corrispondenza di un'utenza, ad esempio una casa, consente al cliente il rilevamento dei parametri relativi all'energia consumata ed eventualmente prodotta, oltre che a permettere la gestione della tariffa più conveniente. Inoltre, la gestione da remoto di tali contatori consente di evitare l'emissione di 30 mila tonnellate di CO2 ogni anno. Lo Smart Concentrator, invece, viene installato nelle cabine di trasformazione da media a bassa tensione ed effettua la gestione dei contatori ad esso connessi via PLC. Tale dispositivo periodicamente rileva i dati dagli Smart Meter, li salva e li invia al sistema centrale, dal quale a sua volta riceve i comandi da comunicare ai contatori. A coordinare il tutto vi è un Sistema Centrale che riceve i dati dai nodi concentratori e li elabora, in modo da gestire il funzionamento dei contatori, le operazioni tariffarie e la qualità del servizio. In figura 2.7 viene riportato lo schema appena esposto, realizzato mediante l'interconnessione dei dispositivi precedentemente descritti e che consente al DSO italiano di gestire e monitorare la rete in tempo reale.



Figura 2.7: Rete di comunicazione

2.2.1. Un singolo chip per i contatori intelligenti

[21]Una nota industria elettronica ha realizzato un dispositivo per gli smart-meter che integra un processore e un modem PLC. La soluzione offre un alto livello di integrazione e consumi ridotti.



Figura 2.8: Nuovo chip per gli smart-meter

Nel campo di PLC si sfidano oggi vari standard; uno dei più promettenti è denominato “PRIME” (PowerLine Intelligent Metering Evolution) che è sostenuto da un'alleanza che riunisce importanti aziende. Per poter utilizzare questo standard, i contatori devono essere dotati di una significativa potenza di elaborazione e di una buona quantità di memoria: il protocollo PRIME è infatti piuttosto complesso e tuttora suscettibile di evoluzioni, quindi è necessario prevedere la possibilità di aggiornamenti del firmware a distanza, tramite la rete. I produttori di contatori intelligenti, pertanto, sono alla ricerca di soluzioni che consentano di soddisfare questi requisiti di sistema senza far lievitare i costi e i consumi del prodotto finito.

2.2.2. Smart-meter multi-servizio

[22]Prosegue la strategia italiana verso una maggiore razionalizzazione e controllo delle risorse energetiche. Nell’ottica di un percorso sempre più inquadrato nella logica della smart-city, l’Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas (AEEG) ha dato il via ad un nuovo piano finalizzato alla diffusione dei contatori intelligenti. L’AEEG ha avviato la selezione di progetti-pilota di smart-metering multi-servizio, ovvero strumenti in grado di telegestire contemporaneamente la fornitura di gas, luce ed acqua, e di dare informazioni sull’efficienza e sul risparmio energetico.

La scelta verrà effettuata sulla base del maggior numero di servizi coinvolti e di punti complessivamente telegestiti, con priorità alle iniziative che prevedono anche la sperimentazione di contatori elettrici di seconda generazione o la fornitura ai clienti di suggerimenti e informazioni sull’uso razionale dell’energia e il risparmio energetico.

Ogni progetto selezionato sarà supportato da sussidi ad-hoc, ma per poter ottenere le tariffe incentivanti, dovranno raggiungere una dimensione minima di 2.500 punti telegestiti complessivamente e non potranno superare i 20.000 punti. Inoltre, almeno il 30% dei punti dovrà riguardare il servizio di fornitura del gas e il 60% complessivamente i servizi regolati dall’Autorità. Per presentare i progetti da svilupparsi nel biennio 2014-15 l’Autorità ha previsto cinque mesi di tempo, e tra gli otto e dodici mesi a seconda della dimensione per

realizzarli; i costi di sperimentazione saranno ricompresi nella tariffa di distribuzione per una spesa complessiva variabile a seconda del numero di progetti, ma comunque inferiore a 10 centesimi di euro per consumatore.

2.2.3. Smart-meter, effetti negativi



Figura 2.9: Smart-meter

[23]La Spagna, come altri paesi europei tra cui Italia e Regno Unito, sta gradualmente sostituendo i vecchi contatori energetici con i nuovi smart-meter in grado di monitorare in tempo reale i consumi, un beneficio che va però calcolato tenendo conto dell'inquinamento elettromagnetico generato dai nuovi contatori. Nonostante ci siano notevoli margini di risparmio economico per le famiglie e una riduzione documentata degli sprechi energetici, pare che il rilascio continuo di onde sia più rischioso di quanto comunicato fino ad oggi.

Oltre al fattore ambientale gli ecologisti si schierano contro la diffusione dei contatori intelligenti in quanto renderanno superflue alcune figure professionali che probabilmente si ritroveranno senza lavoro, e contro la possibile violazione della privacy visto che gli smart-meter permettono alle società energetiche di studiare i comportamenti delle famiglie valutando le loro abitudini e i consumi in tempo reale.

2.2.4. Smart meter: la nuova "rivoluzione mondiale"

[24]Il mercato degli smart meter, è protagonista di una importante ascesa che porterà il suo valore a crescere da 5,2 miliardi nel 2012 fino a 7,4 miliardi nel corso dei prossimi 4 anni. Ad effettuare la previsione è stata una società Telefonica che ha messo in evidenza le enormi potenzialità del mercato di Asia ed Europa, mentre, in generale, il pianeta vedrà la diffusione di circa 800 milioni di dispositivi intelligenti. La diffusione dei dispositivi porterà l'80% delle famiglie europee ad avere uno smart-meter gratuitamente entro il 2020, e la cui distribuzione ha già preso il via.

Per quel che riguarda l'Asia è previsto un leggero ritardo nell'adeguamento rispetto a Stati Uniti ed Europa che procederanno più velocemente. Mentre in Cina la penetrazione dei contatori riguarda circa il 70% della popolazione, in Giappone la crescita è solo all'inizio ma entro il prossimo decennio si prevede che decine di milioni di contatori saranno installati e funzionanti mentre a rallentare complessivamente il mercato saranno America Latina e Medio Oriente.

Alcuni consumatori rimangono scettici e stanno resistendo all'idea di installare un sistema intelligente di monitoraggio, anche se fortunatamente essi sono relativamente poco numerosi.

2.2.5. Protocollo "Meters and More"

[25]Il protocollo Meters and More rende possibile il trasferimento e lo scambio bidirezionale di dati tra i contatori "intelligenti" e il sistema di gestione centrale, contribuendo così alle iniziative mirate al raggiungimento di uno standard paneuropeo dei sistemi intelligenti di misurazione e controllo dei consumi.

La nuova associazione si occuperà inoltre degli ulteriori sviluppi delle specifiche del protocollo, certificherà la conformità delle nuove apparecchiature a queste specifiche e ne promuoverà l'applicazione in tutta Europa. Meters and More sarà aperta alla partecipazione di altri partner, inclusi primari istituti di ricerca e università, per favorire la standardizzazione dei sistemi di comunicazione a livello europeo.

Enel ha installato ad oggi oltre 32 milioni di Contatori Elettronici e 360 mila concentratori sulla propria rete di distribuzione e, in linea con le imminenti disposizioni regolatorie, ha inoltre avviato la progettazione di un dispositivo per consentire la visualizzazione dei dati gestiti dal Contatore Elettronico all'interno delle abitazioni attraverso PC, TV, e display. Avviato nel 2001, il programma di sostituzione massiva dei contatori elettromeccanici con quelli elettronici, conclusosi nel 2006, ha comportato un investimento di oltre 2 miliardi di Euro.

2.3. Contatori intelligenti e modem PLC per il risparmio energetico

Le esigenze di implementazione dei modem PLC e dei contatori intelligenti stanno promuovendo la ricerca, l'impegno e lo sviluppo di questi dispositivi. [26]Con più di 200 milioni di contatori intelligenti che verranno distribuiti solo in Europa, i produttori di tester di elettricità sono alla ricerca di prodotti dal basso costo, affidabili e con soluzioni di comunicazione flessibili per il passaggio ai contatori elettrici intelligenti. Questi contatori

sono in grado di una comunicazione a due vie: al di fuori di casa per il ritorno di servizi, e all'interno della casa per monitorare i dispositivi come termostati, in-home display ed elettrodomestici intelligenti.



Figura 2.10: Modem PLC nella rete di casa

È interessante notare che con i contatori intelligenti si apre la via alla grande distribuzione con scalabilità orizzontale, e ci sono molte altre applicazioni collegate alla rete elettrica che guardano verso questa tecnologia e a questo concetto. Molte di queste applicazioni si attengono al principio Home-Area-Networks (HAN), e la buona notizia per gli sviluppatori è che esiste un percorso per accelerare l'impiego di tecnologie modem PLC.

Non esiste una soluzione unica al mondo per le soluzioni intelligenti PLC, in quanto vi è una grande varietà di esigenze e le opzioni per ogni singolo paese sono molte. Queste opzioni includono la modulazione, il protocollo, il tasso di punta, la robustezza e molto altro. Gli sviluppatori hanno bisogno di soluzioni flessibili in grado di far fronte ad ogni sfida senza costruire le loro competenze tutte da capo per ogni scenario.

Le prestazioni possono essere ottimizzate modificando l'architettura del sistema, quindi capire che tipo di modulazione o standard sono necessari per il sistema di progettazione. Idealmente, una implementazione hardware unica che possa ospitare schemi di modulazione multipli, come OFDM o FSK, tecniche già discusse in precedenza.

Ad un livello elevato, l'attuazione del PLC contiene gli stessi componenti di base. Il cuore della soluzione è il microcontrollore solitamente a 32-bit. Posizionata come interfaccia tra il microcontrollore e la rete elettrica, la circuiteria è responsabile per il filtraggio dei segnali di comunicazione per ottemperare ai diversi standard di trasmissione, tra cui CENELEC.

E' giusto osservare che le tecnologie PLC stanno andando al di là dei contatori elettrici intelligenti. Altre applicazioni verranno utilizzate per i veicoli elettrici e gli inverter solari. Le

soluzioni possono essere facilmente adattate per soddisfare questo obiettivo.

Il front-end analogico deve essere adattato, anche se questo è stato preso in esame dalla Texas-Instruments e da altre aziende del settore.

Le future applicazioni HAN (reti domestiche) mediante PLC devono ancora essere definite con precisione, ma lo sviluppo non sarà limitato all'energia solare o ai veicoli ibridi.

CAPITOLO 3

Emissione dei disturbi da parte degli inverter fotovoltaici e potenziali interazioni

3.1. Impianto fotovoltaico

[27] Un impianto fotovoltaico è un impianto elettrico costituito essenzialmente dall'assemblaggio di più moduli fotovoltaici, i quali sfruttano l'energia solare incidente per produrre energia elettrica mediante effetto fotovoltaico.

3.1.1. Caratteristiche tecniche

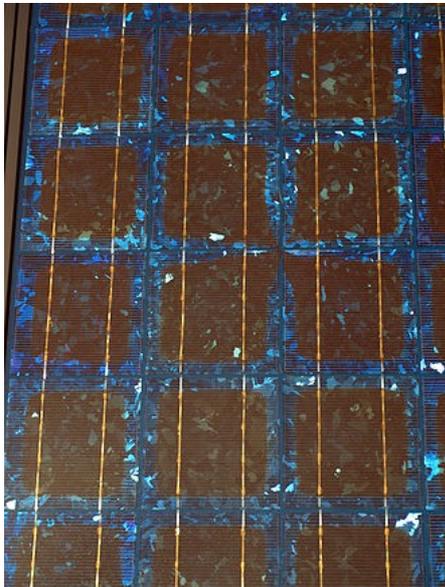


Figura 3.1: Celle solari di un impianto fotovoltaico

[27] La potenza nominale di un impianto fotovoltaico si misura con la somma dei valori di potenza nominale di ciascun modulo fotovoltaico di cui è composto il suo campo.

La superficie occupata da un impianto fotovoltaico è in genere poco maggiore rispetto a

quella occupata dai soli moduli fotovoltaici. I pannelli sono piatti e rettangolari, e il silicio semiconduttore in essi contenuto non è puro ma contiene piccole quantità di boro e fosforo, il mix ottimale per la produzione di energia elettrica.

Negli impianti su terreno o tetto piano, è prassi comune distribuire geometricamente il campo su più file, opportunamente sollevate singolarmente verso il sole, in modo da massimizzare l'irraggiamento captato dai moduli.

L'energia prodotta è tanto maggiore quanto più l'impianto gode di un'esposizione favorevole all'irraggiamento solare, che è massima con determinati angoli di inclinazione rispetto ad un piano orizzontale al suolo e per esposizioni il più possibile verso sud.

Per massimizzare la captazione dell'irraggiamento solare si progettano e si realizzano sempre più spesso moduli fotovoltaici ad inseguimento solare che adattano cioè l'inclinazione del pannello ricevente all'inclinazione dei raggi solari durante il giorno e la stagione.

3.1.2. Funzionamento impianto fotovoltaico

Un impianto fotovoltaico residenziale utilizza moduli fotovoltaici per assorbire energia solare e convertirla in elettricità per le esigenze domestiche. Il tipo più comune è un impianto collegato alla rete elettrica: questo fornisce energia solare durante il giorno garantendo la possibilità di sfruttare l'energia della rete elettrica di notte o quando la produzione dell'impianto non è sufficiente per coprire il fabbisogno dell'utente.

[28]Il funzionamento dei moduli fotovoltaici è il seguente:

- Quando un raggio di luce colpisce il pannello, dopo aver attraversato uno strato di vetro piano antiriflesso che ha lo scopo di minimizzare la dispersione della luce, interagisce con gli elettroni del silicio, che hanno livelli energetici differenti; in particolare con quelli legati più debolmente agli atomi, cioè quelli con legami di conduzione. Sono proprio questi elettroni periferici che si allontanano dall'atomo di silicio e producono un flusso di corrente elettrica. La conversione in energia inizia quasi immediatamente dopo il contatto. L'elettricità prodotta dai moduli è in corrente continua.
- L'inverter trasforma la corrente da continua ad alternata, aprendo e chiudendo fisicamente un circuito con una frequenza determinata. La corrente così prodotta può essere utilizzata per alimentare l'illuminazione e tutti gli apparecchi elettrici, come TV, lavatrice, condizionatore, asciugacapelli e frigorifero.

- L'ultimo passaggio che subisce la corrente elettrica prima di essere immessa in rete ed uscire dagli impianti è nel trasformatore, che dalla bassa tensione dei 230 volt la porta ad una media tensione, 20 mila volt, adatta per la trasmissione a lunga distanza. Quando si produce più energia di quella che si consuma, l'eccesso viene immesso nella rete elettrica.

La quantità di energia prodotta in ogni impianto è misurata da appositi contatori il cui funzionamento ottempera precise disposizioni di legge, anche ai fini della rilevazione dell'energia prodotta.

L'efficienza di un impianto fotovoltaico può variare in funzione di molteplici fattori: per esempio, una migliore gestione dell'angolo di incidenza dei pannelli ha permesso di aumentare l'efficienza di alcuni impianti di alcuni punti percentuali. Un modulo fotovoltaico medio ha un'efficienza attorno al 14 – 16%, ma alcune tecnologie avanzate permettono di superare questi valori. Alcuni impianti, permettono di toccare il 20% di efficienza grazie a dei moduli speciali che montano dei recettori della corrente generata dal pannello disposti non sopra il pannello stesso, ma sotto, aumentando così la superficie di silicio esposta direttamente ai raggi del sole.

3.1.3.L'efficienza della cella solare

[28]Di tutta l'energia che investe la cella solare sotto forma di radiazione luminosa, solo una parte viene convertita in energia elettrica disponibile ai suoi morsetti. I motivi sono molteplici e possono essere raggruppati in quattro categorie:

- riflessione: non tutti i fotoni che incidono sulla cella penetrano al suo interno, dato che in parte vengono riflessi dalla superficie della cella e in parte incidono sulla griglia metallica dei contatti;
- fotoni troppo o poco energetici: per rompere il legame tra elettrone e nucleo è necessaria una certa energia, e non tutti i fotoni incidenti possiedono energia sufficiente. D'altra parte alcuni fotoni troppo energetici generano coppie elettrone-lacuna, dissipando in calore l'energia eccedente quella necessaria a staccare l'elettrone dal nucleo.
- ricombinazione: non tutte le coppie elettrone-lacuna generate vengono raccolte dal campo elettrico di giunzione e inviate al carico esterno, dato che nel percorso dal punto di generazione verso la giunzione possono incontrare cariche di segno opposto e

quindi ricombinarsi;

- resistenze parassite: le cariche generate e raccolte nella zona di svuotamento devono essere inviate all'esterno. L'operazione di raccolta viene effettuata dai contatti metallici, posti sul fronte e sul retro della cella. Anche se durante la fabbricazione viene effettuato un processo di lega tra silicio e alluminio dei contatti, resta una certa resistenza all'interfaccia, che provoca una dissipazione che riduce la potenza trasferita al carico. Nel caso di celle al silicio policristallino, l'efficienza è ulteriormente diminuita a causa della resistenza che gli elettroni incontrano ai confini tra un grano e l'altro e, ancor più nel caso di celle al silicio amorfo, per la resistenza dovuta all'orientamento casuale dei singoli atomi.

La possibilità di realizzare dispositivi fotovoltaici a basso costo e ad alta efficienza rappresenta uno dei traguardi più ambiziosi per la ricerca scientifica.

L'aumento dell'efficienza energetica di tali dispositivi passa per lo sviluppo di nuove strategie fotovoltaiche: sfruttare l'interazione tra elementi nano-strutturati di silicio per sviluppare nuovi dispositivi fotovoltaici. Sono stati simulati sistemi costituiti da nanocristalli di silicio posti tra loro a distanze inferiori al nanometro: i risultati rivelano che la natura quantistica delle interazioni ha l'effetto complessivo di aumentare il numero di cariche generate per singolo fotone assorbito, e perciò migliorare le prestazioni del dispositivo solare.

3.1.4.Dimensionamento

[27] Nell'ambito della progettazione, il dimensionamento di un impianto domestico si fa usualmente tenendo in conto:

- della potenza media desiderata o necessaria a coprire un certo fabbisogno (KWh/annuo) oppure disporre di un surplus aggiuntivo di energia da vendere con relativo guadagno;
- le condizioni di insolazione del luogo di installazione strettamente dipendenti dalla latitudine, dall'esposizione, inclinazione e superficie disponibile, dalle condizioni medie di nuvolosità, dalle perdite dell'inverter.

Da tutti questi fattori si risale alla misura della superficie dei pannelli fotovoltaici necessari a soddisfare le specifiche di impianto in termini di potenza richiesta, pervenendo di conseguenza ad una primitiva stima complessiva del costo di impianto, cui andranno poi aggiunti i costi delle componenti elettriche ed elettroniche (cavi e inverter) e i costi di

installazione. In linea di massima è bene tener presente che quasi ogni impianto fotovoltaico è un pezzo unico e deve essere dimensionato in base a ubicazione e requisiti.

3.1.5. Il problema dell'intermittenza

[27] Problema o limite intrinseco degli impianti fotovoltaici è la sua aleatorietà e non programmabilità di produzione energetica, dovuta alla variabilità dell'irradiazione solare sia per la sua totale assenza notturna, sia in presenza di cielo nuvoloso, sia per le variazioni stagionali tra estate e inverno. Tali problematiche ne declassano in parte l'efficacia come fonte di approvvigionamento energetico ed allo stesso tempo rendono necessaria l'integrazione di tali impianti con altre forme di produzione o di accumulo energetico. A queste problematiche, si aggiunge la necessità di una rete elettrica "intelligente" (smart-grid, già discussa al paragrafo 1.1.2) che supporti la generazione distribuita, in grado cioè di smaltire i flussi di energia intermittenti agli estremi della rete di distribuzione che genererebbero sovraccarichi o improvvisi cali di tensione con ripercussioni sulla produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia stessa.

3.1.6. I vantaggi di avere un Impianto Fotovoltaico

- Si risparmia tutti i giorni. L'impianto fotovoltaico è un sistema di risparmio energetico, è una soluzione utile per ridurre il consumo di energia acquisita dal sistema elettrico nazionale (l'ENEL) con un conseguente abbattimento del costo sulla bolletta elettrica;
- Aumenta il valore della casa. Installare un impianto fotovoltaico aumenta il valore e l'efficienza energetica dell'abitazione;
- Si utilizza energia pulita e rinnovabile. L'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico è una tra le migliori fonti di energia pulita (è ecologica perché non inquina) e rinnovabile, cioè non si esaurisce come ad esempio il gas ed il petrolio;
- E' una valida forma di investimento. Installare un impianto fotovoltaico è da considerarsi come un investimento. Il costo è ammortizzabile già dal primo mese di utilizzo. L'impianto fotovoltaico si ripaga autonomamente in pochi anni. Superato tale periodo tutto il "profitto" generato dall'impianto è guadagno netto. Attraverso lo scambio sul posto, un sistema di valorizzazione energetica, si ottiene una riduzione sul costo dell'energia elettrica utilizzata nei momenti in cui l'impianto fotovoltaico non

produce energia.

3.1.7. Interazione tra impianto fotovoltaico e tariffa bi-oraria

Per capire quali interazioni intercorrono tra impianto fotovoltaico e tariffa bi-oraria, è necessario fare una serie di considerazioni. [30]La prima è che l'impianto fotovoltaico produce energia solo durante il giorno, mentre i consumi dell'utente possono naturalmente variare durante l'arco della giornata, a seconda delle abitudini. La considerazione che ne consegue, quindi, è che stando al meccanismo dei prezzi bi-orari, la produzione dell'impianto fotovoltaico si concentra maggiormente nella fascia in cui il chilowattora è più costoso. A questo punto, per avere una visione ancor più chiara, conviene fare un accenno al meccanismo dello scambio sul posto che si basa sul bilancio economico. Se i consumi avvengono prevalentemente nelle ore “vuote”, l'energia prodotta e immessa dall'impianto fotovoltaico ha un valore più alto rispetto al valore dell'energia prelevata, il che potrebbe incidere notevolmente sul dimensionamento dell'impianto. In altri termini, cercando di semplificare il concetto: finché lo scambio sul posto era basato sul bilancio energetico, aveva senso dimensionare l'impianto in base ai consumi. Con il meccanismo attuale, e cioè con lo scambio sul posto basato sul bilancio economico, per dimensionare l'impianto fotovoltaico sulla base esclusivamente dei propri consumi, occorrerebbe tenere conto del rapporto che esiste tra il valore dell'energia immessa e il valore dell'energia prelevata. Il che significa che, per i consumi più virtuosi, cioè per coloro che consumano prevalentemente quando l'energia costa meno, la tendenza potrebbe essere quella di dimensionare gli impianti al ribasso. In pratica, con l'entrata a regime dei prezzi bi-orari ci sono dei risvolti positivi anche per chi desidera installare un impianto fotovoltaico usufruendo dello scambio sul posto: lo scambio avviene nella fascia più vantaggiosa per chi scambia, cioè per chi produce dal fotovoltaico e non consuma tutto.

3.2. Inverter



Figura 3.2: Inverter

[31] In elettronica un inverter è un apparato elettronico di ingresso/uscita in grado di convertire una corrente continua in ingresso in una corrente alternata in uscita.

3.2.1. Applicazioni dell'inverter

Questi dispositivi possono venir utilizzati in diverse applicazioni in campo elettrico, sia per uso domestico che aziendale. [32] Sono utilizzati inverter ogni volta che l'energia elettrica arriva nelle nostre case, infatti nella trasmissione negli elettrodotti questi dispositivi convertono, o meglio "invertono", la corrente continua in alternata.

Altra utilissima applicazione di questi strumenti è quella nei gruppi di continuità, quei fondamentali componenti di ogni elettrodomestico o apparecchio elettrico che mantengono alimentato in corrente alternata l'apparecchio stesso.

In campo industriale gli inverter sono utilizzati per regolare la velocità di qualsiasi motore di tipo elettrico, velocità legata alla frequenza del potenziale con i quali sono alimentati e quindi dalla corrente elettrica. L'utilizzo degli inverter, grazie anche ai notevoli progressi fatti dall'elettronica, risulta sempre più diffuso: come convertitore nei motori dei filobus e dei treni, nei trasmettitori sonar, nel riscaldamento ad induzione, nei generatori di ultrasuoni, negli elettrodomestici...

Ogni applicazione richiede particolari specifiche (elevata potenza in uscita, elevate frequenze di lavoro, regolabilità della tensione d'uscita,...) e quindi esistono diversi tipi di inverter ognuno creato ad hoc per soddisfare le richieste.

3.2.2. *Caratteristiche*

[32]Un inverter è principalmente costituito da 3 componenti: un raddrizzatore nel quale entra la corrente iniziale, un bus di collegamento a corrente continua e un invertitore finale, generalmente trifase, che produce la corrente in uscita, utilizzata poi dall'applicazione richiesta. Il raddrizzatore iniziale trasforma la corrente alternata della rete in ingresso in corrente continua, o se essa è già continua la mantiene costante, che viene poi mantenuta uniforme dai condensatori che costituiscono i DC Bus. A valle di tutto l'invertitore genera la rete a frequenza variabile a seconda della necessità.

Si parla di rumore nella frequenza dell'onda generata dall'inverter quando a causa di picchi di frequenza delle armoniche dell'onda in ingresso, l'onda in uscita è diversa da quella desiderata. Questo fenomeno grava ovviamente sull'efficienza dell'apparecchio e il suo rendimento sarà più basso.

[31]Il tipo più semplice di inverter consiste in un oscillatore che pilota un transistor, il quale genera un'onda quadra aprendo e chiudendo un circuito. L'onda è quindi applicata ad un trasformatore che fornisce all'uscita la tensione richiesta arrotondando in qualche misura l'onda quadra. Spesso al posto del transistor comune sono utilizzati dispositivi più efficienti quali il MOSFET, il tiristore o l'IGBT.

La forma d'onda quadra generata da questi dispositivi ha il problema di essere ricca di armoniche superiori, mentre l'onda sinusoidale della rete elettrica ne è priva. Ciò comporta una minore efficienza delle apparecchiature alimentate, maggiore rumorosità sia sonora che elettrica, e seri problemi di compatibilità elettromagnetica.

Inverter più complessi utilizzano diversi approcci per produrre in uscita una forma d'onda quanto più possibile sinusoidale. Gli inverter migliori e più costosi basano il loro funzionamento sulla modulazione di larghezza di impulso (PWM). Il sistema può essere retro-azionato in modo da fornire una tensione in uscita stabile al variare di quella di ingresso. Per i vari tipi di modulazione la qualità del segnale è determinata dal numero di bit impiegati. Si va da un minimo di 3 bit a un massimo di 12 bit, in grado di descrivere con ottima approssimazione la sinusoide.

3.2.3. *Inverter fotovoltaici per immissione in rete*

[31]Si tratta di un tipo particolare di inverter progettato espressamente per convertire l'energia elettrica sotto forma di corrente continua prodotta dal modulo fotovoltaico, in corrente

alternata da immettere direttamente nella rete elettrica. Queste macchine estendono la funzione base di un inverter generico con funzioni estremamente sofisticate e all'avanguardia, mediante l'impiego di particolari sistemi di controllo software e hardware che consentono di estrarre dai pannelli solari la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione meteorologica. Questa funzione prende il nome di MPPT, un acronimo di origine inglese che sta per Maximum-Power-Point-Tracker. I moduli fotovoltaici infatti, hanno una curva caratteristica tensione/corrente tale che esiste un punto di lavoro ottimale, detto appunto Maximum Power Point, dove è possibile appunto estrarre la massima potenza disponibile.

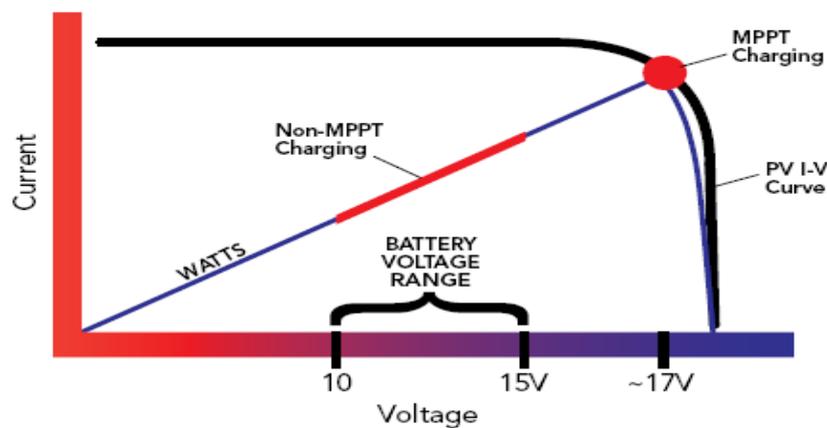


Figura 3.3: Maximum-Power-Point-Tracker (MPPT)

Questo punto della caratteristica varia continuamente in funzione del livello di radiazione solare che colpisce la superficie delle celle. È evidente che un inverter in grado di restare "agganciato" a questo punto, otterrà sempre la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione. Ci sono svariate tecniche di realizzazione della funzione MPPT, che si differenziano per prestazioni dinamiche (tempo di assestamento) e accuratezza. Sebbene la precisione dell'MPPT sia estremamente importante, il tempo di assestamento lo è, in taluni casi, ancor più. Mentre tutti i produttori di inverter riescono ad ottenere grande precisione sull'MPPT, solo in pochi riescono ad unire precisione a velocità. È infatti nelle giornate con nuvolosità variabile che si verificano sbalzi di potenza solare ampi e repentini. In queste condizioni un inverter con tempi di assestamento minori di 5 secondi riesce a produrre fino al 5%-10% di energia in più di uno lento.

Alcuni inverter fotovoltaici sono dotati di stadi di potenza modulari, e alcuni sono addirittura dotati di un MPPT per ogni stadio di potenza. In questo modo i produttori lasciano all'ingegneria di sistema la libertà di configurare un funzionamento master/slave o a MPPT indipendenti. L'utilizzo di MPPT indipendenti fornisce un vantaggio oggettivo in condizioni

di irraggiamento non uniforme dei pannelli. Infatti non è infrequente che la superficie dei pannelli solari sia esposta al sole in modo difforme su tutto il campo. In questo caso l'utilizzo di un solo MPPT porterebbe l'inverter a lavorare fuori dal punto di massima potenza e conseguentemente la produzione di energia ne sarebbe danneggiata.

Un'altra caratteristica importante di un inverter fotovoltaico, è l'interfaccia di rete. Questa funzione, generalmente integrata nella macchina, deve rispondere ai requisiti imposti dalle normative dei diversi enti di erogazione di energia elettrica.

3.2.4. Inverter appropriato per ogni impianto

[33] Sul mercato sono disponibili innumerevoli inverter fotovoltaici, che possono essere classificati sulla base di tre importanti caratteristiche: la potenza, il dimensionamento sul lato CC (corrente-continua) e la topologia.

1. **Potenza.** La potenza disponibile parte da due kilowatt e arriva fino all'ordine dei megawatt. Le potenze tipiche ammontano a 5 kW per impianti residenziali su tetto, da 10 a 20 kW per impianti commerciali (ad esempio su capannoni o tetti di fienili), e da 500 a 800 kW per l'impiego in centrali fotovoltaiche.
2. **Connessione dei moduli.** Durante il dimensionamento sul lato CC, il punto da considerare è la connessione dei moduli fotovoltaici con l'inverter. Qui si distingue fra inverter di stringa, multistringa e centrali, laddove per "stringa" si intende una fila di moduli fotovoltaici collegati in serie. Gli inverter multistringa dispongono di due o più entrate di stringa, con inseguitore MPP dedicato. Sono raccomandabili soprattutto se il generatore fotovoltaico è composto da numerose superfici parziali o se è parzialmente ombreggiato. Nonostante la loro grande potenza, gli inverter centrali possiedono un unico inseguitore MPP. Essi sono particolarmente idonei per grandi impianti con generatore omogeneo.
3. **Topologia.** Per quanto riguarda la topologia, si distingue fra inverter monofase e trifase, come anche fra apparecchi con o senza trasformatore. Mentre in impianti di piccole dimensioni vengono solitamente usati inverter monofase, per gli impianti fotovoltaici di grandi dimensioni devono essere usati inverter trifase o gruppi di più inverter monofase. Per correnti trifase si intendono quelle correnti elettriche con tre tensioni a corrente alternata differenti aventi però la stessa differenza di fase e frequenza. Ulteriore classificazione di questi strumenti, sia che appartengano a quelli

monofase che trifase è in base al tipo di transistor o tiristore utilizzato: si parla in questo caso di inverter PWM, inverter risonanti, inverter a commutazione ausiliaria e inverter a commutazione complementare. Si parla poi di inverter a mezzo ponte o a ponte intero a seconda della disposizione dei transistor e dei diodi nella configurazione elettrica a ponte di Wheatstone.

3.2.5. Compiti inverter fotovoltaici

[33]I compiti di un inverter fotovoltaico sono tanto variegati quanto complessi:

1. Trasformazione con basse perdite. Una delle caratteristiche più importanti di un inverter è il suo grado di rendimento. Quest'ultimo indica quale percentuale dell'energia "immessa" sotto forma di corrente continua viene riemessa sotto forma di corrente alternata.
2. Ottimizzazione della potenza. La curva caratteristica dei moduli fotovoltaici dipende fortemente dall'intensità dell'irraggiamento e dalla temperatura dei moduli, quindi da valori che si modificano continuamente nell'arco della giornata. L'inverter deve pertanto trovare e mantenere costantemente il punto di funzionamento ideale sulla curva caratteristica, per poter estrapolare dai moduli solari la potenza maggiore in ogni situazione;
3. Monitoraggio e protezione. L'inverter monitora da un lato il rendimento dell'impianto FV e segnala la presenza di eventuali anomalie. Dall'altro lato si occupa del monitoraggio della rete di alimentazione alla quale è collegato. Per motivi di sicurezza deve dunque disinserire immediatamente l'impianto in caso di anomalia nella rete pubblica, oppure contribuire al supporto della stessa, in base ai requisiti del gestore di rete locale. Inoltre spesso possiede un dispositivo in grado di interrompere in maniera sicura il flusso di corrente dai moduli fotovoltaici. Infatti, in caso di irraggiamento, essi si trovano fondamentalmente sotto tensione, e dunque non si possono disinserire. Se si interrompe il collegamento via cavo con l'inverter durante il funzionamento, possono verificarsi pericolosi archi elettrici che, a causa della corrente continua, non scompaiono. Integrando un dispositivo sezionatore direttamente nell'inverter, l'installazione e il cablaggio risultano decisamente più semplici.
4. Comunicazione. Le interfacce di comunicazione sull'inverter consentono il controllo

e il monitoraggio di tutti i parametri, i dati di funzionamento e i rendimenti. Tramite un collegamento di rete, un bus di campo è possibile richiamare i dati e configurare i parametri degli inverter. La maggior parte delle volte i dati vengono interrogati tramite un data-logger, che raccoglie le informazioni di più inverter.

5. Gestione della temperatura. La temperatura nell'involucro dell'inverter influisce anche sul grado di rendimento. Se sale troppo, l'inverter deve ridurre la sua potenza. In alcune circostanze non è quindi poi possibile utilizzare appieno la potenza del modulo attualmente disponibile. La temperatura dipende da un lato dal luogo di montaggio, dall'altro dipende direttamente dal funzionamento dell'inverter. Quindi è particolarmente importante un raffreddamento efficiente e affidabile dell'involucro.
6. Protezione. Un involucro resistente alle intemperie, in caso ottimale con grado di protezione IP65, permette il montaggio all'esterno e in qualsiasi luogo dell'inverter.

Il vantaggio: più vicino viene installato l'inverter ai moduli, minore sarà l'onere dovuto alla posa dei relativamente costosi cavi CC.

3.3.Disturbi

Gli inverter in ingresso hanno una tensione continua (pannello solare), che è essenzialmente priva di disturbi, quindi un inverter non è sensibile ai disturbi. Invece è lui che li crea, perché per generare la tensione alternata in uscita si fanno commutare dei semiconduttori di potenza, in genere IGBT, che hanno fronti di commutazione rapidi, quindi con contenuto energetico ad alta frequenza, che può disturbare altri apparecchi elettronici nelle vicinanze.

Gli inverter più economici generano un'onda quadra, o a tre livelli, quindi generano anche armoniche della frequenza di rete, tipicamente quelle dispari 3, 5 ecc. Queste forme d'onda possono dare qualche problema a carichi sensibili, come motori, apparecchiature elettroniche sofisticate, mentre vanno bene per applicazioni meno critiche, come lampade, PC e simili.

Le armoniche di rete generate da questi inverter non si possono filtrare, perché contengono molta energia, il filtro quindi sarebbe grosso e costoso. Piuttosto si usano allora gli inverter con uscita sinusoidale pura, dove i semiconduttori di potenza commutano a frequenza assai elevata, tipicamente 20KHz, e riescono a riprodurre in uscita una sinusoide praticamente priva di armoniche. Però il residuo della frequenza di commutazione, e le sue armoniche, devono comunque essere filtrati, anzi commutando a frequenza elevata possono generare ancora più disturbi a radiofrequenza. Sempre per non disturbare altri apparecchi quindi si usano filtri LC,

ad induttanza e capacità, sia interni agli inverter stessi sia esterni, quando si vuole maggiore pulizia. I filtri esterni di solito hanno le bobine di modo comune, cioè con due avvolgimenti, uno per fase, sullo stesso nucleo, mentre i condensatori, di tipo speciale ed omologato, vanno verso la terra.

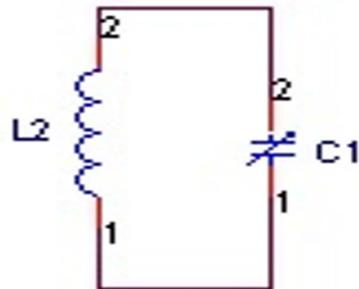


Figura 3.4: Filtro LC

3.3.1. Disturbi elettromagnetici

[34]Le rapide transizioni degli IGBT aumentano la possibilità di generazione di disturbi elettrici di modo comune. I disturbi di modo comune sono tipi di disturbi elettrici indotti sui segnali riferiti a massa. È possibile che i disturbi elettrici derivanti dal funzionamento dell'inverter interferiscano con l'apparecchiatura elettrica sensibile adiacente, soprattutto nelle aree in cui sono concentrati molti inverter. Le correnti di modo comune generate dagli inverter a frequenza variabile sono simili alle correnti di modo comune generate dagli azionamenti in CC. Tuttavia, gli inverter producono una frequenza assai superiore rispetto agli inverter CC. Gli inverter hanno un maggior potenziale di eccitazione della risonanza di un circuito a causa della rapida commutazione, che fa in modo che le correnti di modo comune ricerchino il percorso di ritorno a minima impedenza verso l'inverter. Le correnti di terra circolanti possono accoppiarsi nei circuiti di segnale e nei circuiti logici, causando un funzionamento anomalo e possibili danni al circuito. Quando le tecniche comuni di messa a terra non funzionano è necessario utilizzare tecniche di collegamento a massa per le emissioni in alta frequenza. Se gli installatori non utilizzano queste tecniche, i circuiti del sistema potrebbero guastarsi rapidamente. Le correnti nell'impianto di terra potrebbero causare problemi con computer e sistemi di controllo distribuito. I contatti elettromeccanici causano disturbi transitori quando vengono commutati carichi induttivi, quali relè, solenoidi, avviatori o motori. Gli inverter, come gli altri dispositivi con circuiti elettronici logici, sono soggetti a questo tipo di interferenze.

[35]I disturbi creati dall'inverter si possono quindi classificare in:

- Disturbi irradiati nell'ambiente attraverso i cavi di collegamento (detti EMI che verranno spiegati in seguito); tipicamente questo problema si risolve utilizzando cavi schermati che coprano tutto il percorso della corrente.
- Disturbi Condotti verso la rete di alimentazione attraverso lo stadio di ingresso dell'inverter: anche questi problemi sono risolvibili, ma impiegando delle reattanze o filtri di ingresso che il costruttore dell'inverter può fornire a parte o talvolta già incorporati con l'apparecchio.
- Armoniche di corrente causate dai raddrizzatori di ingresso dell'inverter; questo problema è un po' più complesso da risolvere, e può essere affrontato a livello di singolo inverter o a livello di impianto, con filtri per armoniche.

3.3.2.EMI-ElectroMagnetic Interference

[36]Quando si parla di EMI si intendono le interferenze dovute al campo elettromagnetico che modificano la sinusoide originaria durante il suo transito sulla linea. Si possono considerare diversi tipi di emissioni che causano EMI:

- emissioni intenzionali, cioè i segnali;
- emissioni non intenzionali, dovuti ad apparecchi quali lampade, inverter, ecc;
- una combinazione di entrambi.

La modifica dell'onda sinusoidale della tensione di alimentazione può essere osservata da:

- degrado delle funzioni o danni agli utenti della rete;
- deterioramento delle prestazioni del MCS (Mains-Communication-System);
- visualizzazione errata dell'energia elettrica misurata.

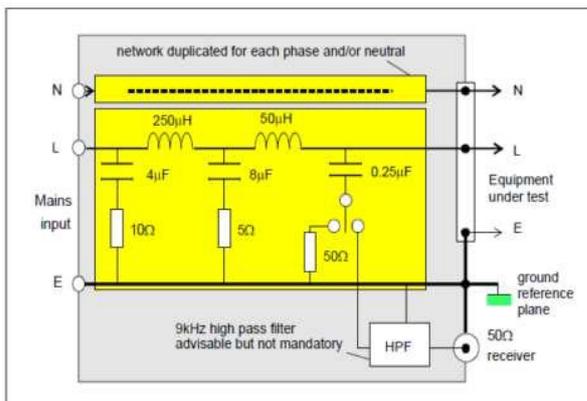
Inizialmente per la gamma di frequenze 2 kHz - 150 kHz sembrava che soprattutto le lampade "varialuce", inverter e gli smart-meter con tecnologia PLC fossero stati coinvolti nei disturbi correlati. Invece, diversi casi EMI sono stati indicati con altri tipi di apparecchiature. Prima di studiare i vari casi è bene sapere che in ogni presa della corrente (anche quella delle proprie abitazioni) è presente un'impedenza di linea diversa, quindi per rendere ripetibili le misure sulle emissioni condotte sui vari apparecchi si utilizza una LISN (Line-Impedance-Stabilization-Network). Questa viene utilizzata perchè:

- la rete elettrica di alimentazione (come accennato poco fa) è essa stessa sede di disturbi, che potrebbero sommarsi a quelli prodotti dal dispositivo sotto-test

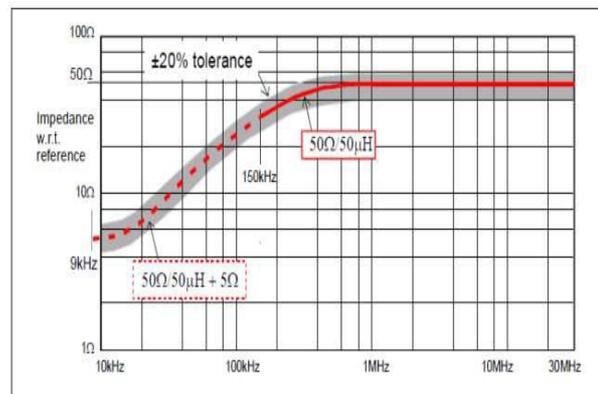
compromettendo il risultato della misura;

- l'impedenza vista ai capi di una presa di alimentazione è molto variabile sia nel tempo che nello spazio, quindi misure fatte in luoghi o tempi diversi darebbero risultati non confrontabili.

La LISN deve quindi comportarsi come un filtro passa-basso, in modo da permettere il passaggio della corrente di alimentazione ma non dei disturbi a più alta frequenza, e deve mantenere un'impedenza di carico approssimativamente stabile nell'intervallo di frequenze previsto dalla normativa sulle emissioni condotte.



a) circuito elettrico



b) andamento dell'impedenza al variare della frequenza

Figura 3.5: LISN

Dopo questo breve preambolo sulla LISN, segue ora un breve studio su alcuni casi di EMI.

1) Lampadine

Sono state effettuate delle misurazioni condotte da una "test-house" accreditata sulle emissioni di due lampade compatte (2 x 26 W) nella banda da 9 kHz a 500 kHz. I risultati hanno mostrato che:

- a 60 kHz si verificano delle emissioni fino a 82 dBuV;
- un eccesso dei limiti della norma EN 50065-1[*] per le emissioni spurie di segnale di circa 10 dB.

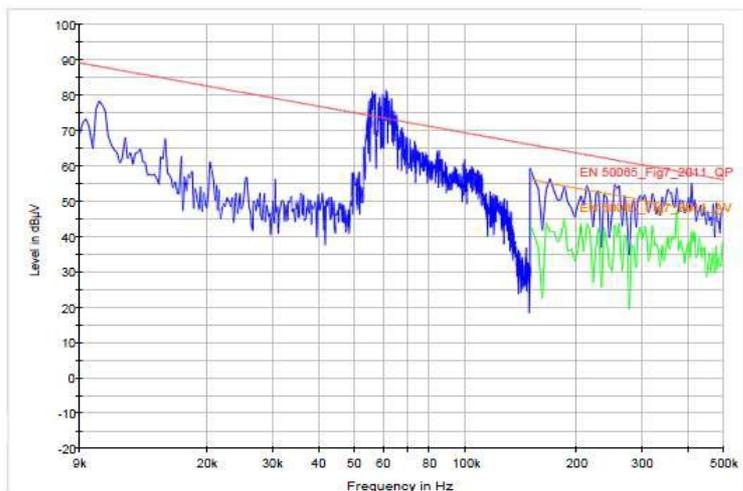


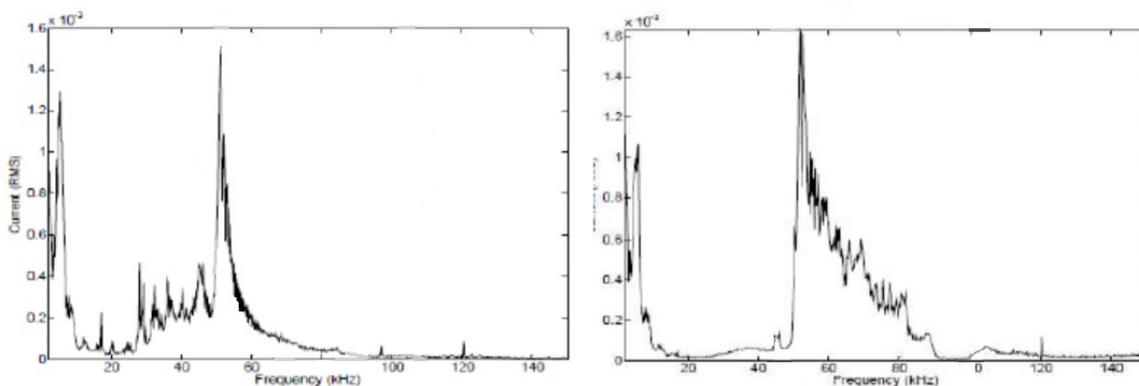
Figura 3.6: Misurazioni di una coppia di lampadine

Quindi attorno ai 60 kHz, che risulta essere un intervallo di frequenze di trasmissione, sarà presente un potenziale EMI che causerà dei disturbi nella rete.

2) Lampada fluorescente

In Svezia sono state compiute delle misurazioni sulle emissioni di 48 lampade fluorescenti alimentate da reattori ad alta frequenza, nella gamma 2 kHz-150 kHz, di seguito si può osservare:

- la figura 3.7a mostra la componente principale della corrente nella gamma di frequenze considerata la quale è caratterizzata da una componente a banda larga decrescente con la frequenza da 50 kHz a circa 90 kHz;
- la figura 3.7b mostra che i picchi massimi in ampiezza della corrente sono circa uguali.



a) Accensione di una sola lampada

b) Accensione di 48 lampade

Figura 3.7: Grafici lampade fluorescenti

Ciò dimostra, che:

- le componenti dello spettro di corrente non vengono aggiunte linearmente;
- la caratteristica generale dello spettro, tranne il picco alla frequenza di commutazione, cambia in base al numero di lampade accese;
- le emissioni sono dipendenti dal fatto che ci sia luce o meno.

Si può dedurre, che:

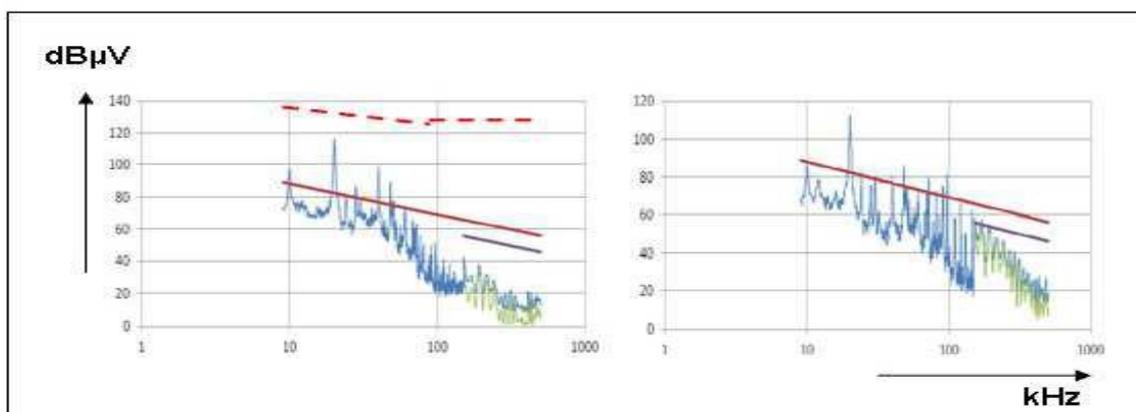
- le emissioni delle lampade fluorescenti presentano correnti di picco nella gamma di frequenze considerata, aventi componenti di tensione dipendenti dall'impedenza della rete;
- l'effetto risultante di tali lampade fluorescenti è variabile con:
 - il numero di lampade accese;
 - la struttura e l'impedenza della relativa installazione.

3)Alimentazione carichi elettronici tra cui inverter

Apparecchiature di elettronica di potenza composti anche da inverter (ad esempio, un ascensore) vengono utilizzati sempre più spesso. Ricordiamo che questi dispositivi sono composti da un circuito di commutazione a determinate frequenze che vanno da diversi kilohertz a poche centinaia di kilohertz. Le correnti di impulso circolanti nel circuito di commutazione creano dei disturbi ad alta frequenza. Tali emissioni da parte degli inverter possono causare interferenze con altre apparecchiature elettriche, a causa:

- della frequenza di commutazione e delle armoniche prodotte;
- della forma di tensione nel dominio del tempo;

Prove in laboratorio hanno portato ai seguenti risultati:



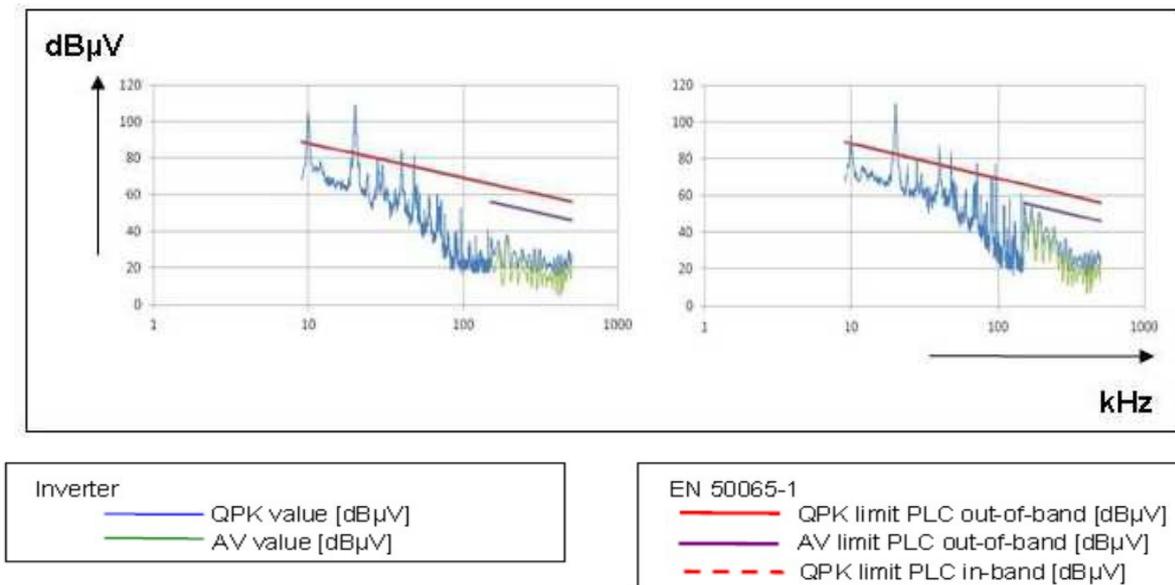


Figura 3.8: Emissioni degli inverter 4 kW-12 kW

Come si può osservare, indipendentemente dalla potenza di alimentazione, le emissioni:

- appaiono molto simili per forma e livelli;
- mostrano picchi in base alla frequenza di commutazione dell'inverter e delle sue armoniche;
- mostrano che i valori medi nella gamma di frequenze 9 kHz - 150 kHz da valori di ~90 dBuV subiscono una riduzione di ~22 dBuV, risultando quindi al di sotto dei limiti definiti nella EN 50065-1[*];
- superano con i loro picchi i limiti stabiliti nella EN 50065-1[*].

4) Inverter fotovoltaici

In Belgio sono state effettuate delle misurazioni su un impianto fotovoltaico per capire meglio i disturbi da esso derivanti.

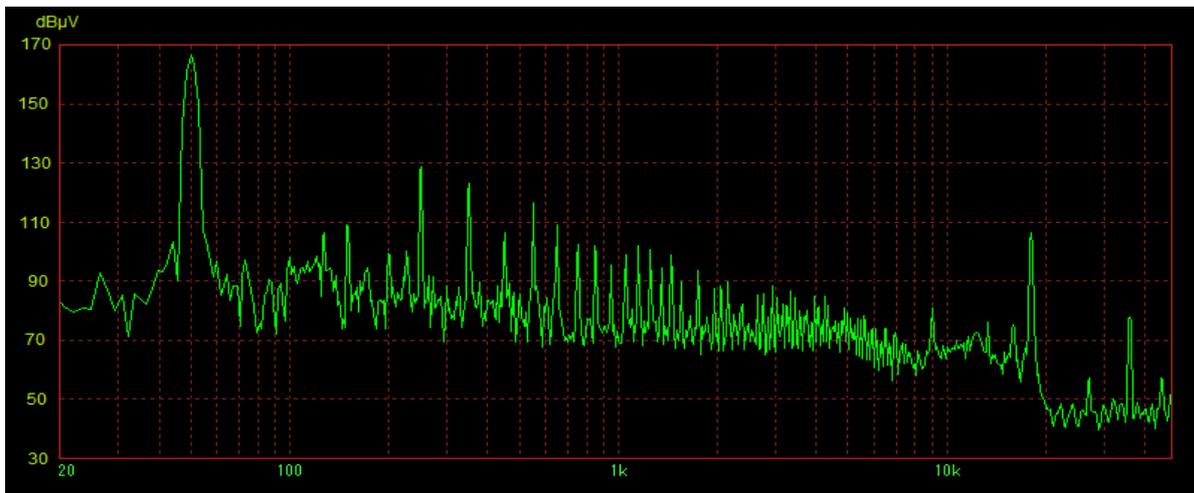
Nell'installazione trifase di un edificio, sono state studiate le emissioni di due inverter fotovoltaici, aventi potenza di picco 2,5 kW, sono stati collegati alla fase 1, mentre un altro inverter fotovoltaico, installato nelle immediate vicinanze (200 m), è stato collegato alla fase 2.

Le misure effettuate sulla fase 1 mostrano chiaramente un picco a 18 kHz (frequenza di commutazione dell'inverter I). Questo picco è indipendente dalla potenza generata dal sistema fotovoltaico, inoltre si è osservato che il problema scompare la sera, quando l'inverter è in modalità "shutdown night". Accanto al picco a 18 kHz, c'è un picco minore a 16 kHz

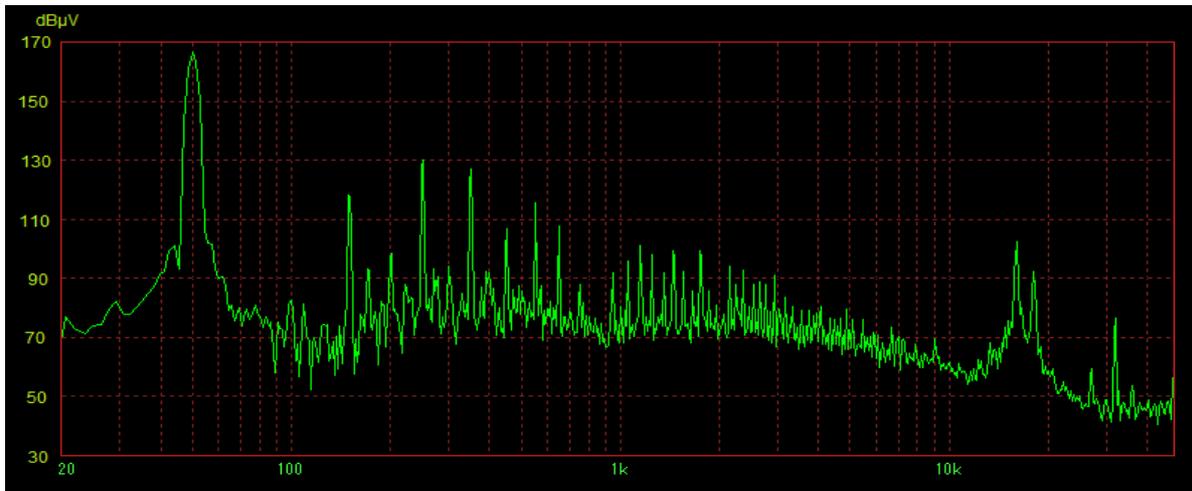
derivante dal secondo inverter (vedi fig. 3.9a).

Le misure fatte sulla fase 2 mostrano un picco attenuato a 18 kHz (commutazione dell'inverter II), ma si può notare la presenza di un altro picco più esteso. Inoltre sono visibili le armoniche a 32 kHz e 36 kHz (vedi fig. 3.9b).

Le misurazioni svolte sulla fase 3 mostrano picchi a 16 kHz, 18 kHz, 32 kHz e 36 kHz, a livelli leggermente inferiori di quelli sulla fase 2.



a) Locazione 1, Fase 1



b) Locazione 2, Fase 2

Figura 3.9: Emissioni dovute agli inverter fotovoltaici nel range di frequenze 20 kHz-50 kHz

In seguito a questo studio si possono osservare differenze significative tra le due installazioni: nella prima, a 18 kHz, è presente un'elevata attenuazione; mentre nella seconda, a 16 kHz, non c'è solo un livello di picco, ma anche un'attenuazione molto più bassa (da 15 a 20 dB sull'installazione 1, meno di 10 dB per l'installazione 2).

Sebbene la misura è stata fatta in una gamma di frequenza fino a 50 kHz, possiamo immaginare che anche le armoniche di ordine superiore e la gamma di frequenze della banda stretta di PLC è interessata a tali disturbi.

5) Contatori elettrici

Si è riscontrato un comportamento anomalo da parte di alcuni contatori elettrici dovuto alle interferenze che hanno portato ad aver registrato valori anomali durante l'esposizione. Questi disturbi:

- non sono costantemente presenti nella rete di alimentazione e quindi non possono essere definiti transitori;
- possono essere descritti come iniezioni di correnti/tensioni nella rete di distribuzione da parte di terzi (utenti) mediante attrezzature o dispositivi elettrici, come inverter fotovoltaici, convertitori di frequenza, pompe di calore, lampade, apparecchi TV, frigoriferi, ecc.
- possono variare la larghezza di banda della PLC.

Durante le misure è stato riconosciuto che in un impianto, nel periodo di misurazione di una settimana, il contatore elettronico ha visualizzato un livello di energia di ~18,5% sotto l'energia reale immessa nella rete pubblica da parte dell'inverter fotovoltaico. Questo è dunque un problema importante sia da parte del fornitore che del consumatore.

Il Consiglio svedese per l'accreditamento e valutazione della conformità (SWEDAC) ha riferito che:

- i contatori elettronici, a causa dei disturbi condotti, effettuano una visualizzazione errata dell'energia elettrica misurata;
- i contatori sono conformi alle norme armonizzate EN 50470-1[****] e EN 50470-3[*****] e sono quindi stati legittimati con il marchio CE;
- la loro ipotesi fu che le norme sui contatori non fossero concordanti con la richiesta essenziale (Essential-Requirements,ERS) della direttiva sugli strumenti di misura 2004/22 / CE;
- l'effetto di disturbo è stato causato da altre apparecchiature elettriche collegate alla rete, come le pompe di calore, apparecchi TV, alimentatori difettosi, lampade compatte e quindi non bisogna attribuire la colpa ai contatori per l'errata misurazione.

Dopo questa breve panoramica sulle apparecchiature che possono creare dei disturbi alla PLC, ulteriori indagini su altri casi reali sono necessarie per fare una corretta interpretazione dei risultati appena esposti. Tuttavia, in generale, sembra che i livelli di emissione sono abbastanza indipendenti ed è quindi impossibile prendere un modello comune per tutti.

Riassumendo i risultati delle indagini descritte nella presente relazione, si possono esporre le seguenti conclusioni:

1. L'evoluzione tecnologica delle apparecchiature elettroniche, per non parlare dell'applicazione e fornitura di energia elettrica, ha portato ad uno scenario del tutto mutato per quel che riguarda le emissioni in rete dell'energia elettrica;
2. Si ha un incremento della distorsione della forma d'onda sinusoidale originaria;
3. Diversi tipi di apparecchiature elettriche mostrano picchi non intenzionale delle tensioni/correnti nella gamma di frequenza 2 kHz - 150 kHz con valori abbastanza elevati.

3.4. Conclusioni

Le soluzioni PLC possono essere viste come complementari o alternative alle reti via cavo tradizionali, e alla rete wireless. Secondo le architetture esistenti si può scegliere una delle applicazioni descritte nel paragrafo 1.3, ma si può anche prevedere una soluzione a complemento di un'altra! Il numero delle soluzioni PLC sono destinate ad aumentare, infatti è attualmente allo studio un modo per diffondere dei canali televisivi digitali. Numerosi altri progetti di ricerca si basano su queste soluzioni e sulle loro evoluzioni, a conferma del fatto che tale tecnologia rappresenta il futuro delle comunicazioni.

Al momento la soluzione di Enel sui contatori bidirezionali sembra essere quella di maggiore successo in quanto rappresenta un notevole vantaggio per il consumatore sapere quanta energia utilizza e trovare quindi diversi modi per risparmiare il più possibile. Inoltre sempre con questi contatori è possibile gestire un impianto fotovoltaico, aumentando così l'utilizzo di fonti rinnovabili sempre più necessarie per abbattere l'inquinamento globale che ormai ha raggiunto valori insostenibili. Per di più consente un ulteriore risparmio all'utente grazie agli incentivi dello stato, quindi il costo iniziale dell'impianto verrà ammortizzato in poco tempo, questo ha generato una vera e propria espansione in questi ultimi anni.

Occorre sottolineare anche il fatto che non esistono ancora delle normative ben definite che limitano il rumore immesso in rete dalla gran parte dei dispositivi elettronici, solo alcuni di

essi sono regolamentati, causando il disturbo nelle frequenze della banda del CENELEC (3-148,5 kHz). Infatti ENEL, che usufruisce della banda A (3-90 kHz), in alcuni casi, non riesce a comunicare con gli smart-meters, creando seri problemi di acquisizione dei dati degli utenti. Per poter utilizzare al meglio la Power-Line-Communication è necessario effettuare indagini volte a capire i disturbi prodotti dalle varie apparecchiature e definire delle norme per regolamentarle, al fine di non creare interferenze che possono causare una cattiva trasmissione dei dati. L'impresa sembra ardua, ma il risultato sarà estremamente soddisfacente.

Bibliografia

- [1] Estratto della tesi di Rocchi
- [2] Estratto della tesi di Lazzoni
- [3] http://it.wikipedia.org/wiki/Distribuzione_di_energia_elettrica
- [4] <http://www.energiaenergetica.enea.it/generazione-distribuita/tecnologie/smart-grid.aspx>
- [5] <http://www.kimeratec.com/telecontrollo-su-powerline-part-2-di-10/>
- [6] <http://it.kioskea.net/contents/736-tecnologia-powerline-plc>
- [7] Estratto della tesi di Gallina
- [8] PLC storia e sviluppo.pdf
- [9] Estratto della tesi di Spoto
- [10] http://it.wikipedia.org/wiki/Powerline#Domotica_e_reti_locali
- [11] <http://it.wikipedia.org/wiki/Powerline>
- [12] <http://www.lastampa.it/2013/10/25/tecnologia/speciali/smau/il-contatore-dellelettricit-smart-57FKLFhXVzMDmGlj3DG2gJ/pagina.html>
- [13] Estratto della tesi di Vanuzzo
- [14] PLC storia e sviluppo.pdf
- [15] http://www.enel.com/it-IT/innovation/project_technology/smart_grids/smart_meter.aspx
- [16] http://www.enel.it/it-it/reti/enel_distribuzione/qualita/progetti_contatore_elettronico/
- [17] <http://it.kioskea.net/contents/737-architettura-di-dispositivi-plc>
- [18] http://www.enel.it/it-IT/reti/enel_distribuzione/qualita/progetti_contatore_elettronico/presentazione.aspx
- [19] <http://it.wikipedia.org/wiki/LonWorks>
- [20] http://www.enel.com/it-IT/innovation/smart_grids/smart_metering/telegestore/
- [21] http://www.elettronicanews.it/articoli/0,1254,40_ART_7739,00.html
- [22] <http://www.rinnovabili.it/energia/efficienza-energetica/smart-meter-multi-servizio-aee-666/>
- [23] <http://www.rinnovabili.it/ambiente/smart-meter-inquinamento-123>
- [24] <http://www.rinnovabili.it/energia/efficienza-energetica/smart-meter-telefonica-londra-123/>
- [25] http://www.enel.com/it-it/media/press_releases/contatori-intelligenti-enel-e-endesa-creano-147-meters-and-more-148/r/1629731
- [26] <http://it.emcelettronica.com/contatori-intelligenti-e-modem-plc-risparmio-energetico>

- [27] http://it.wikipedia.org/wiki/Impianto_fotovoltaico
- [28] <http://www.rtrenergy.it/en/come-funziona-un-impianto-fotovoltaico.php?men=2>
- [29] <http://www.enerpoint.it/solare/fotovoltaico/tecnologia/processo-fotovoltaico.php>
- [30] <http://energie-rinnovabili.blogspot.it/2011/09/interazione-tra-impianto-fotovoltaico-e.html>
- [31] <http://it.wikipedia.org/wiki/Inverter>
- [32] <http://www.guidaacquisti.net/inverter>
- [33] <http://www.sma-italia.com/soluzioni/medium-power-solutions/know-how/inverter-solari-conoscenze-di-base-per-la-progettazione-di-impianti-fv.html>
- [34] http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/drives-in001_-it-p.pdf
- [35] http://www.marcodalpra.it/downloads/Elettrotecnica/Inverter_Guida_Tecnica_3.3.pdf
- [36] Documento Cenelec - Study Report frequency below 150kHz

Norme

[*]La norma EN 50065-1 è la più importante creata da SC205A (riguarda la segnalazione sugli impianti elettrici a bassa tensione nella gamma di frequenza da 3 kHz a 148,5 kHz). Questo standard copre il livello fisico per i sistemi a banda stretta e banda larga, ma esclude deliberatamente i metodi di modulazione in modo da non limitare l'innovazione tecnica.

[**]La norma CEI EN55015 del 2006 è tra le normative cui devono soddisfare le componenti di un sistema applicato all'illuminazione, in particolare degli alimentatori e dei dispositivi di telecontrollo e regolazione.

[***]La Norma EN 55011 specifica le procedure per la misura dei radiodisturbi e i limiti nella gamma di frequenze da 9 kHz a 400 GHz che si applicano agli apparecchi industriali, scientifici e medicali (ISM), agli apparecchi ad elettroerosione (EDM) e agli apparecchi per saldatura ad arco. Sono inclusi nel campo di applicazione della presente Norma anche gli apparecchi di illuminazione ISM e gli irradiator UV funzionanti a frequenze all'interno delle bande ISM definite dai Regolamenti Radio ITU.

[****]CEI EN 50470-1 (CEI 13-52): Apparati per la misura dell'energia elettrica

[*****]EN 50470-3: Apparati per la misura dell'energia elettrica. Prescrizioni particolari: contatori statici per energia attiva.