

Qualità dell'alimentazione elettrica
negli impianti industriali

Indice

1	Premessa	6
2	Obiettivi	8
3	Riferimenti	12
3.1	Normativi e Regolatori	14
3.2	Altra documentazione citata nella presente guida	17
4	Termini e definizioni	18
5	Quadro regolatorio	34
5.1	Contenuti principali della Deliberazione ARERA n.646/2015/R/eel	37
5.2	Atti regolatori sul monitoraggio della tensione	39
5.3	Monitoraggio qualità della tensione - QUEEN	40
5.4	Contratti per la qualità (Allegato A alla Del. 646/2015/R/eel)	42
5.5	Prossimi passi sulla regolazione dei clienti industriali	42
6	Quadro normativo	44
6.1	Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione	46
6.1.1	CEI EN 50160	46
6.1.2	Normativa EMC/EMI	47
6.1.3	Family Standard IEC 61000	49
6.1.4	Aspetti di compatibilità	56
6.1.5	Squilibrio della tensione	61
6.1.6	Tensioni armoniche	62
6.1.7	Sovratensioni	68
6.1.8	Buchi di tensione	70
6.2	Norme tecniche di connessione alla rete di distribuzione italiana	75
6.2.1	CEI 0-16; CEI 0-21	75
6.2.2	Guida alle connessioni di E-Distribuzione	76
6.2.3	Cenni ai Grid Codes europei e italiani	77
6.3	Esercizio della rete MT	79
6.3.1	Configurazione tipica delle aree rurali	79
6.3.2	Configurazione tipica delle aree urbane	80
7	Quadro relazionale con clienti industriali inerenti criticità sulla qualità della tensione	82
8	Origine ed effetti dei disturbi	86
9	Criteri di immunizzazione	90
9.1	I ruoli	92
9.1.1	Il ruolo del Distributore di energia elettrica	92
9.1.2	Il ruolo di Confindustria	93
9.1.3	Il ruolo dei progettisti	93
9.1.4	Il costruttore di apparecchi utilizzatori	93
9.2	Criteri di progettazione	93
9.2.1	Criteri per la realizzazione degli impianti	93
9.2.2	Criteri di scelta delle apparecchiature relativamente ai livelli di immunità	95
9.2.3	Desensibilizzazione dei processi produttivi sensibili a problematiche di buchi di tensione	101
9.2.4	Apparecchiature per la limitazione dei disturbi da installare negli impianti	108
9.3	Possibili ulteriori azioni a cura di E-Distribuzione e i clienti finalizzate al miglioramento della qualità e della continuità dell'alimentazione elettrica	109
9.4	Use cases cliente sito in Campania	111

1 Premessa

La qualità dell'alimentazione elettrica ha assunto una crescente importanza, sia nel settore industriale che nel terziario, diventando uno degli elementi necessari per un corretto funzionamento delle apparecchiature elettriche, le quali necessitano quindi di parametri di alimentazione elettrica sempre più costanti ed imperturbati. La complessità dell'argomento Power Quality è data dal fatto che le suddette apparecchiature possono essere loro stesse essere elementi disturbanti per la rete e per gli utenti limitrofi, e che ulteriori disturbi possono provenire da eventi esogeni o essere causati da eventi di rete strettamente legati al funzionamento della stessa.

La qualità del servizio elettrico prende in considerazione i seguenti due aspetti:

- la continuità dell'alimentazione, intesa come assenza di **interruzioni nella fornitura di energia elettrica**;
- la qualità della tensione, intesa come qualità della forma d'onda (ampiezza, frequenza, variazioni, ecc.).

Esistono numerosi fattori che influiscono sulla qualità dell'energia elettrica, ed in particolare questi possono essere:

- dipendenti dal Distributore (ad esempio per gestione ed esercizio o manutenzione della rete);
- dipendenti dal Cliente (ad esempio guasti presso impianto del Cliente, disturbi emessi sulla rete);
- indipendenti (ad esempio fattori ambientali, eventi atmosferici, danni prodotti da Terzi).

Consapevoli dell'importanza che l'energia elettrica riveste nell'economia del sistema Paese, E-Distribuzione S.p.A. (società del gruppo Enel S.p.A.) e Confindustria hanno avviato un ampio programma di collaborazione che comprende, tra gli obiettivi di maggiore rilevanza, una capillare azione di informazione e di indirizzo per i Clienti industriali sugli aspetti tecnici della qualità del servizio elettrico.

La presente pubblicazione, frutto della pluriennale collaborazione tra Enel e Confindustria aggiornata rispetto alla precedente edizione del 2005, è stata concepita e sviluppata con lo scopo di offrire un quadro generale di indirizzo e suggerimenti utili per:

- la corretta progettazione delle reti di utenza
- la scelta del macchinario di processo

in modo da tener conto delle perturbazioni normalmente presenti sulle reti di distribuzione dell'energia elettrica la cui numerosità può essere ridotta con adeguati interventi, ma mai completamente eliminata.

Il miglioramento della qualità del servizio impone un approccio integrale al problema. A tal fine, la rete elettrica deve essere considerata come un sistema unico che vede coinvolti non solo i soggetti operanti nel settore della produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica, ma anche i Clienti responsabili di una adeguata scelta degli apparecchi utilizzatori e della corretta progettazione, installazione, gestione e manutenzione degli apparati stessi e delle reti d'utenza.

A tale scopo, si ritiene anche opportuno che gli organismi preposti all'elaborazione della normativa tecnica degli apparati utilizzatori e delle macchine operatrici prescrivano adeguati livelli di immunità ai disturbi in modo da non amplificare le conseguenze sul processo produttivo di perturbazioni anche molto brevi presenti sulle reti.

La conoscenza della sensibilità del processo industriale ai disturbi elettrici, da un lato, e delle performance di rete attese nel contesto in cui tale processo opera, dall'altro, sono i fattori chiave per un'analisi dei costi e dei benefici degli interventi desensibilizzanti volti al conseguimento di un determinato livello di qualità del servizio.



2 Obiettivi



La presente pubblicazione intende fornire ai Clienti industriali alimentati in **media tensione**:

- la descrizione delle principali caratteristiche dell'alimentazione elettrica delle reti di distribuzione;
- la caratterizzazione dell'ambiente elettromagnetico in cui l'impianto utilizzatore si trova ad operare;
- la formulazione di suggerimenti per la scelta degli apparecchi e dei componenti di impianto, fornendo un quadro generale dei parametri che ne caratterizzano le prestazioni dal punto di vista della **compatibilità elettromagnetica**;
- l'indicazione di massima dei provvedimenti in grado di ridurre l'emissione di disturbi sulla rete pubblica da parte degli impianti utilizzatori.

In questa ottica, le indicazioni tecniche in essa contenute, oltre che costituire il presupposto per una più efficace azione di tutti i soggetti coinvolti al mantenimento di adeguati livelli qualitativi dell'alimentazione elettrica, possono rappresentare un utile contributo alla definizione di future soluzioni anche contrattuali che, in uno spirito di reciproca collaborazione, definiscano gli impegni di ciascuna delle parti sia in merito alla qualità dell'alimentazione fornita sia in relazione al contenimento dei disturbi da parte degli utenti.

La continuità del servizio e la qualità della tensione delle reti di distribuzione sono regolate dalle deliberazioni dell'**Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA)**¹ attraverso il monitoraggio le seguenti grandezze opportunamente combinate:

- la durata media cumulata delle **interruzioni** per clienti² **BT**;
- il numero delle **interruzioni** lunghe, brevi e transitorie per i clienti **BT**³.

La stessa **ARERA**, fissa nelle proprie Deliberazioni i livelli obiettivo ed i livelli tendenziali di miglioramento per la continuità del servizio (in termini di numero e durata delle interruzioni brevi e lunghe per ciascun anno) per ciascuna impresa distributrice e riferiti a tre diverse tipologie di ambiti territoriali, identificati sulla base della densità di popolazione (Alta Concentrazione: Comuni con più di 50.000 abitanti; Media Concentrazione: Comuni con abitanti compresi tra 5.000 e 50.000 e Bassa Concentrazione: Comuni al di sotto dei 5.000 abitanti).

Inoltre, con specifico riferimento al monitoraggio dei parametri di Power Quality, l'**ARERA** ha previsto nella regolazione l'obbligo per tutte le imprese distributrici di condurre una campagna di registrazione del numero e della tipologia dei **buchi di tensione** registrati sulle semisbarre **MT** delle cabine primarie di ciascuna impresa di distribuzione. Tale campagna di misurazione e registrazione dei **buchi di tensione** è tuttora in corso ed i risultati rilevati nel corso di tale sperimentazione saranno propedeutici alla futura regolazione della qualità della tensione e alla conseguente definizione dei relativi livelli specifici⁴ da parte dall'**ARERA**.

Poiché la qualità del servizio è un concetto che coinvolge l'intero sistema elettrico, comprendendo sia la rete di trasmissione, sia la rete di distribuzione, sia la rete d'utenza, essa presuppone il coinvolgimento e la partecipazione del Cliente attraverso:

- la scelta dello schema di allacciamento più consono al livello di qualità richiesto dal processo industriale;
- il rispetto delle regole di allacciamento emesse dal Distributore;
- il coordinamento delle protezioni del Cliente con quelle del Distributore;
- la corretta progettazione, realizzazione, manutenzione e gestione degli impianti del Cliente.

Al riguardo la Guida identifica esplicitamente i requisiti tecnici minimi degli impianti degli utenti di media tensione⁵; inoltre, in collaborazione con il Comitato Elettrotecnico Italiano (**CEI**), l'**Autorità** ha predisposto ed adottato le regole tecniche di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT (norma CEI 0-21⁶) ed a quelle MT ed AT (norma CEI 0-16⁷).

¹ In precedenza AEEGSI. ARERA- Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente.

² ARERA Delibera 646/2015/R/EEL Allegato "A": articolo 15.4

³ ARERA Delibera 646/2015/R/EEL Allegato "A": articolo 15.2

⁴ ARERA Delibera 646/2015/R/EEL Allegato "A": articolo 66

⁵ ARERA Delibera 646/2015/R/EEL Allegato "A": articolo 39

⁶ ARERA Delibera 654/2015/R/eel Allegato "C" – TIC; Delibera 786/2016/R/eel

⁷ ARERA Delibera 654/2015/R/eel Allegato "C" – TIC; Delibera 786/2016/R/eel



3 Riferimenti

Normativi e Regolatori

Altra documentazione citata nella presente guida

I seguenti documenti richiamati sono indispensabili per l'applicazione della presente guida. Per i documenti superati e non più in vigore va presa in considerazione la versione espressamente citata, mentre per i documenti in vigore va considerata solo l'edizione più recente.

3.1 Normativi e Regulatori

Si considerino le varianti alle norme

[NORMA CEI 0-16:2014-09 – FASCICOLO 13789 C](#)

Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica

[NORMA CEI 0-21:2016-07 – FASCICOLO 15024](#)

Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica

[NORMA CEI EN 50160:2011-05 – FASCICOLO 11266](#)

Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica

[NORMA CEI EN 61000-2-2:2003-06](#)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 2-2: Ambiente - Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione dei segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a bassa tensione

[NORMA CEI EN 61000-2-4:2003-04](#)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 2-4: Ambiente - Livelli di compatibilità per disturbi condotti in bassa frequenza negli impianti industriali

[NORMA CEI EN 61000-3-3:2014-07 E VARIANTI SUCCESSIVE](#)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 3-3: Limiti - Limitazione delle variazioni di tensioni, delle fluttuazioni di tensione e del flicker in sistemi di alimentazione in bassa tensione per apparecchiature con corrente nominale ≤ 16 A per fase e non soggette ad allacciamento su condizione

[NORMA CEI EN 61000-6-3:2007-11 E VARIANTI SUCCESSIVE](#)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-3: Norme generiche - Emissione per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera

[NORMA CEI EN 61000-2-12:2004-03](#)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 2-12: Ambiente - Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione di segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a media tensione

[NORMA CEI EN 50065-1:20034-12](#)

Trasmissione di segnali su reti elettriche a bassa tensione nella gamma di frequenza da 3 a 148,5 kHz Parte 1: Prescrizioni generali, bande di frequenza e disturbi elettromagnetici

[NORMA CEI 99-4:2014-09](#)

Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale

[MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO - DECRETO 22 GENNAIO 2008, N. 37](#)

Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.

[ARERA - DELIBERA N. 210/05](#)

Approvazione del piano di rilevazione della qualità della tensione sulla rete di trasmissione nazionale e obblighi di monitoraggio della qualità della tensione sulle reti di distribuzione dell'energia elettrica in alta tensione

[ARERA - DELIBERA N. 246/06](#)

Modifiche al Testo integrato della qualità dei servizi elettrici di cui all'Allegato A alla deliberazione 30 gennaio 2004, n. 4/04, e successive modificazioni

[ARERA - DELIBERA 22 DICEMBRE 2015 N. 646/2015/R/EEL](#)

Testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica, per il periodo di regolazione 2016-2023

[ARERA - DELIBERA 06 OTTOBRE 2016 N. 549/2016/R/EEL](#)

Regolazione sperimentale incentivante la riduzione della durata delle interruzioni con preavviso del servizio di distribuzione dell'energia elettrica

[ARERA - DELIBERA 22 DICEMBRE 2016 N. 781/2016/R/EEL](#)

Modifiche al Testo integrato della regolazione output based dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica, per il periodo di regolazione 2016-2023

[REGOLAMENTO UE DELLA COMMISSIONE DEL 14 APRILE 2016 N° 2016/631](#)

Network Code on requirements for grid connection of generators - RfG

Codice di rete relativo ai requisiti per la connessione dei generatori alla rete

[REGOLAMENTO UE DELLA COMMISSIONE DEL 17 AGOSTO 2016 N° 2016/1388](#)

Network Code on Demand Connection - DCC

Codice di rete in materia di connessione della domanda

[TERNA RETE ITALIA - CODICE DI TRASMISSIONE DISPACCIAMENTO, SVILUPPO E SICUREZZA DELLA RETE AL 27 NOVEMBRE 2015](#)

[DECRETO LEGISLATIVO 16 MARZO 1999, N. 79](#)

Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica

3.2 Altra documentazione citata nella presente guida

[GUIDA PER LE CONNESSIONI DI E-DISTRIBUZIONE S.P.A.](#)

La Guida per le connessioni è reperibile sul sito WEB di E-Distribuzione S.p.A. al link https://www.e-distribuzione.it/it/connessione-alla-rete/Regole_tecniche.html



4 Termini e definizioni



Le seguenti definizioni sono tratte dalle norme indicate e/o dal sito internet "IEV Online" dell'International Electrotechnical Commission (IEC), meglio noto come Electropedia.

BASSA TENSIONE - LV, BT

[IEV 601-01-26, 1985]

A set of voltage levels used for the distribution of electricity and whose upper limit is generally accepted to be 1 000 V for alternating current

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.9]

Tensione il cui valore efficace nominale è $U_n \leq 1$ kV

MEDIA TENSIONE - MV, MT

[IEV 601-01-28, 1985]

Any set of voltage levels lying between low and high voltage

Note – The boundaries between medium- and high-voltage levels overlap and depend on local circumstances and history or common usage. Nevertheless, the band 30 kV to 100 kV frequently contains the accepted boundary

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.11]

Tensione il cui valore efficace nominale è $1 \text{ kV} < U_n \leq 36$ kV

Nota: a causa di strutture di reti esistenti, in alcuni paesi il confine tra MT e AT può essere diverso

ALTA TENSIONE - HV, AT

[IEV 601-01-27, 1985]

1) in a general sense, the set of voltage levels in excess of low voltage

2) in a restrictive sense, the set of upper voltage levels used in power systems for bulk transmission of electricity

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.7]

Tensione il cui valore efficace nominale è $36 \text{ kV} < U_n \leq 150$ kV

Nota: a causa di strutture di reti esistenti, in alcuni paesi il confine tra MT e AT può essere diverso

AMBIENTE ELETTROMAGNETICO

[IEV 161-01-07, 1990-08]

The totality of electromagnetic phenomena existing at a given location

Note – In general, the electromagnetic environment is time dependent and its description may need a statistical approach

COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA - EMC

[IEV 161-01-07, 1990-08]

The ability of an equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment

DISTURBO CONDOTTO

[IEV 161-03-27, 1990-08]

Electromagnetic disturbance for which the energy is transferred via one or more conductors

[EN 50160:2011-05 par. 3.1]

Fenomeno elettromagnetico che si propaga lungo i conduttori delle linee di una rete di distribuzione

Nota: In alcuni casi un fenomeno elettromagnetico si trasferisce attraverso gli avvolgimenti dei trasformatori e quindi tra reti a differenti livelli di tensione. Questi disturbi possono degradare la prestazione di un dispositivo, apparato o sistema, o possono causare guasti.

DISTURBO ELETTROMAGNETICO

[IEV 161-01-05, 1990-08]

Any electromagnetic phenomenon which can degrade the performance of a device, equipment or system, or adversely affect living or inert matter

Note – An electromagnetic disturbance can be an electromagnetic noise, an unwanted signal or a change in the propagation medium itself.

DISTURBO (IR)RADIATO

[IEV 161-03-28, 1990-08]

Electromagnetic disturbance for which the energy is transferred through space in the form of electromagnetic waves

Note – The term “radiated disturbance” is sometimes used to cover induction phenomena

INTERFERENZA ELETTROMAGNETICA - EMI

[IEV 161-01-06, 1990-08]

Degradation of the performance of an equipment, transmission channel or system caused by an electromagnetic disturbance

Note: in English, the terms “electromagnetic disturbance” and “electromagnetic interference” designate respectively the cause and the effect, but they are often used indiscriminately.

EMISSIONE ELETTROMAGNETICA

[IEV 161-01-08, 1990-08]

The phenomenon by which electromagnetic energy emanates from a source

IMMUNITÀ (AD UN DISTURBO)

[IEV 161-01-20, 1990-08]

The ability of a device, equipment or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance

LIMITE DI EMISSIONE (DI UNA SORGENTE DISTURBANTE)

[IEV 161-03-12, 1990-08]

The specified maximum emission level of a source of electromagnetic disturbance

LIVELLO DI COMPATIBILITÀ (ELETTROMAGNETICA)

[IEV 161-03-10, 1990-08]

The specified electromagnetic disturbance level used as a reference level for co-ordination in the setting of emission and immunity limits

Note 1 – By convention, the compatibility level is chosen so that there is only a small probability that it will be exceeded by the actual disturbance level. However electromagnetic compatibility is achieved only if emission and immunity levels are control-

led such that, at each location, the disturbance level resulting from the cumulative emissions is lower than the immunity level for each device, equipment and system situated at this same location.

Note 2 – The compatibility level may be phenomenon, time or location dependent.

LIVELLO DI DISTURBO (ELETTROMAGNETICO)

[IEV 161-03-29, 1990-08]

The level of an electromagnetic disturbance existing at a given location, which results from all contributing disturbance sources

LIVELLO DI IMMUNITÀ

[IEV 161-03-14, 1990-08]

The maximum level of a given electromagnetic disturbance incident on a particular device, equipment or system for which it remains capable of operating at a required degree of performance

LIVELLO DI EMISSIONE (DI UNA SORGENTE DI DISTURBO)

[IEV 161-03-11, 1990-08]

The level of a given electromagnetic disturbance emitted from a particular device, equipment or system

LIMITE DI EMISSIONE (DI UNA SORGENTE DI DISTURBO)

[IEV 161-03-12, 1990-08]

The specified maximum emission level of a source of electromagnetic disturbance

PUNTO DI ACCOPIAMENTO COMUNE - PCC

[IEV 614-01-12, 2016-02]

Point in an electric power system, electrically nearest to a particular load, at which other loads are, or may be, connected

Note 1 to entry: These loads can be either devices, equipment or systems, or distinct network users' installations.

[IEV 161-07-15, 1990-08]

Point of a power supply network, electrically nearest to a particular load, at which other loads are, or may be, connected

Note 1 – These loads can be either devices, equipment or systems, or distinct customer's installations.

Note 2 – In some applications, the term "point of common coupling" is restricted to public networks.

PUNTO DI ACCOPIAMENTO IN IMPIANTO (IN-PLANT POINT OF COUPLING) -IPC

[CEI EN 61000-2-4:2003]

Definito come il punto di una rete di distribuzione interna ad un impianto utilizzatore, elettricamente più vicino ad un carico particolare, al quale possono o potrebbero essere collegati altri carichi. Sostanzialmente IPC coincide con il PCC considerando solo "devices, equipment or systems" interni all'impianto utilizzatore⁸.

PUNTO DI CONNESSIONE - PDC⁹

[IEV 617-04-01, 2009-03]

Reference point on the electric power system where the user's electrical facility is connected.

[CEI 0-16:2014 – par. 5.58]

Confine fisico tra due reti nella titolarità e/o gestione di due soggetti diversi attraverso cui avviene lo scambio fisico di energia. Il punto di connessione è individuato al confine tra l'impianto di rete per la connessione e l'impianto di utenza. (vedi Figura 4).

SUSCETTIBILITÀ (ELETTROMAGNETICA)

[IEV 161-01-21, 1990-08]

The inability of a device, equipment or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance

Note – Susceptibility is a lack of immunity

⁸ L'IPC è solitamente il punto in cui si prende in considerazione la compatibilità elettromagnetica.

⁹ Assimilabile a: Punto di alimentazione – Terminali di alimentazione
[IEV 614-01-02, 2016-02]

Point in an electric power network designated as such and contractually fixed, at which electric energy is exchanged between contractual partners

Note 1 to entry: The point of supply may be different from the boundary between the electric power network and the user's own installation or from the metering point.

TENSIONE DI ALIMENTAZIONE DICHIARATA - U_c

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.2]

Tensione di alimentazione U_c concordata tra l'operatore della rete di distribuzione e l'utente della rete

NOTA: Generalmente, la tensione di alimentazione dichiarata U_c è la tensione nominale U_n ma può essere diversa secondo l'accordo tra l'operatore della rete di distribuzione e l'utente della rete.

FLICKER

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.3]

[IEV 161-08-13]

Impressione d'instabilità della percezione visiva indotta da uno stimolo luminoso la cui luminanza o la cui distribuzione spettrale fluttua nel tempo

NOTA Le fluttuazioni di tensione causano variazioni di luminanza delle lampade che, a loro volta, possono determinare il fenomeno visivo chiamato flicker. Oltre una certa soglia, il flicker diventa fastidioso. Il fastidio cresce molto rapidamente con l'ampiezza della fluttuazione. Per talune frequenze di ripetizione anche ampiezze molto ridotte possono essere fastidiose

SEVERITÀ DEL FLICKER

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.4]

Intensità di disturbo del flicker valutata mediante le seguenti quantità:

Severità di breve durata (P_{st}) misurata in un intervallo di dieci minuti;

Severità di lunga durata (P_{lt}) calcolata a partire da una sequenza di dodici valori di P_{st} su un intervallo di due ore, secondo la formula seguente:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

FREQUENZA DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.5]

Numero di ripetizioni della componente fondamentale della tensione di alimentazione, misurato in un dato intervallo di tempo

TENSIONE ARMONICA

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.6]

Tensione sinusoidale la cui frequenza è un multiplo intero della frequenza fondamentale della tensione di alimentazione

NOTA Applicazione: Le tensioni armoniche possono essere valutate:

Singolarmente, secondo la loro ampiezza relativa (u_h) che è la tensione armonica rapportata alla tensione fondamentale u_1 , dove h rappresenta l'ordine dell'armonica;

Globalmente, per esempio con il fattore di distorsione armonica totale THD, calcolato utilizzando la formula seguente:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$

NOTA Le armoniche della tensione di alimentazione sono principalmente dovute a carichi non lineari degli utenti della rete connessi a tutti i livelli di tensione del sistema di alimentazione. Le correnti armoniche circolanti attraverso le impedenze del sistema contribuiscono ad accrescere le tensioni armoniche. Le correnti armoniche e le impedenze del sistema, e di conseguenza le tensioni armoniche ai terminali di alimentazione, variano nel tempo.

TENSIONE INTERARMONICA

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.8]

tensione sinusoidale con una frequenza non uguale ad un multiplo intero della fondamentale

NOTA Tensioni interarmoniche con frequenze molto vicine possono apparire contemporaneamente formando uno spettro a larga banda.

SEGNALI TRASMESSI SULLA RETE DI ALIMENTAZIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.10]

segnali sovrapposti alla tensione di alimentazione per la trasmissione di informazioni nella rete pubblica di alimentazione e negli impianti utilizzatori

NOTA Classificazione: I segnali nella rete pubblica di distribuzione di energia elettrica possono essere classificati in tre tipi:

Segnali a controllo di ondulazione d'onda: segnali di tensione sinusoidale sovrapposti nell'intervallo di frequenza da 110 Hz a 3 000 Hz;

Segnali trasmessi sulla rete: segnali di tensione sinusoidale sovrapposti nell'intervallo di frequenza da 3 kHz a 148,5 kHz;

Segnali marcatori di rete: alterazioni di breve durata (transitorie) sovrapposte in punti specifici della forma d'onda della tensione.

OPERATORE DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE - DSO

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.13]

parte responsabile del funzionamento, della manutenzione e, se necessario, dello sviluppo della rete di alimentazione in una data area e responsabile nell'assicurare, per lungo tempo, la capacità della rete di soddisfare richieste ragionevoli di alimentazione elettrica

[Direttiva 2009/72/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 luglio 2009 - articolo 4 comma 6]

Gestore del sistema di distribuzione: qualsiasi persona fisica o giuridica responsabile della gestione, della manutenzione e, se necessario, dello sviluppo del sistema di distribuzione in una data zona e, se del caso, delle relative interconnessioni con altri sistemi, e di assicurare la capacità a lungo termine del sistema di soddisfare richieste ragionevoli di distribuzione di energia elettrica.

OPERATORE DELLA RETE DI TRASMISSIONE - TSO

[Direttiva 2009/72/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 luglio 2009 - art. 4 comma 4]

Gestore del sistema di trasmissione: qualsiasi persona fisica o giuridica responsabile della gestione, della manutenzione e, se necessario, dello sviluppo del sistema di trasmissione in una data zona e, se del caso, delle relative interconnessioni con altri sistemi, e di assicurare la capacità a lungo termine del sistema di soddisfare richieste ragionevoli di trasmissione di energia elettrica.

FREQUENZA NOMINALE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.14]

valore nominale della frequenza della tensione di alimentazione

TENSIONE NOMINALE U_N

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.16]

tensione con la quale una rete di alimentazione è caratterizzata o identificata e alla quale si riferiscono alcune caratteristiche di funzionamento

VARIAZIONE RAPIDA DELLA TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.17]

variazione rapida singola del valore efficace della tensione tra due livelli consecutivi mantenuti per durate definite ma non specificate

NOTA Per ulteriori informazioni vedi la EN 61000-3-3

TENSIONE DI RIFERIMENTO (PER LA VALUTAZIONE DELLE INTERRUZIONI, DEI BUCI DI TENSIONE E DELLE SOVRAELEVAZIONI DI TENSIONE)

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.18]

valore specificato come base sulla quale la tensione residua, le soglie e gli altri valori sono espressi sotto forma di unità o di percentuale

NOTA Ai fini della presente Norma, la tensione di riferimento è la tensione nominale o dichiarata del sistema di alimentazione

INTERRUZIONE DELL'ALIMENTAZIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.19]

condizione nella quale la tensione ai terminali di fornitura è inferiore al 5 % della tensione di riferimento

NOTA 1 Classificazione: un'interruzione di alimentazione può essere classificata come:

- programmata, quando gli utenti della rete sono stati precedentemente avvertiti

oppure

- accidentale, causata da guasti transitori o permanenti, principalmente legati ad eventi esterni, a guasti di apparecchiature o a interferenze di terzi. Un'interruzione accidentale è classificata come:
 - interruzione lunga (maggiore di 3 minuti);
 - interruzione breve (fino a 3 min compreso).

NOTA 2 Generalmente, le interruzioni sono causate dall'intervento da dispositivi di manovra o protezione.

NOTA 3 Gli effetti di un'interruzione programmata possono essere minimizzati dagli utenti della rete prendendo provvedimenti appropriati.

NOTA 4 Le interruzioni programmate sono tipicamente dovute all'esecuzione di lavori programmati sulla rete elettrica.

NOTA 5 Le interruzioni accidentali sono eventi imprevedibili e largamente casuali.

NOTA 6 Per i sistemi polifase, un'interruzione si verifica quando la tensione cade al di sotto del 5 % della tensione di riferimento su tutte le fasi (altrimenti, essa è considerata un **buco di tensione**).

NOTA 7 In alcuni paesi, i termini Interruzioni Molto Brevi (VSI) o interruzioni transitorie sono usati per classificare le interruzioni con durata inferiore ad un valore compreso tra 1 s e 5 s. Tali interruzioni sono correlate all'intervento del dispositivo di richiusura automatica.

TENSIONE DI ALIMENTAZIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.21]

valore efficace della tensione in un dato istante ai terminali di fornitura, misurato in un intervallo assegnato

SOVRATENSIONE TRANSITORIA

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.22]

sovratensione oscillatoria o non oscillatoria di breve durata di solito molto smorzata e con durata di pochi millisecondi o inferiore

NOTA Le sovratensioni transitorie sono solitamente dovute a fulminazioni, a manovre o a interventi di fusibili. Il tempo di salita di una sovratensione transitoria può variare da meno di un microsecondo fino a pochi millisecondi.

BUCO DI TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.23]

riduzione temporanea della tensione efficace in un punto nel sistema di alimentazione elettrica al di sotto di una soglia di inizio specificata

NOTA 1 Applicazione: ai fini della presente Norma, la soglia di inizio del buco è uguale al 90 % della tensione di riferimento.

NOTA 2 Tipicamente, un buco è associato alla presenza e alla fine di un cortocircuito o di un altro aumento eccessivo di corrente nel sistema o negli impianti ad esso connessi.

NOTA 3 Ai fini della presente Norma, un buco di tensione è un disturbo elettromagnetico a due dimensioni, il cui livello è determinato sia dalla tensione che dal tempo (durata).

DURATA DEL BUCO DI TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.24]

tempo tra l'istante in cui la tensione efficace in un punto particolare di un sistema di alimentazione elettrica cade al di sotto della soglia di inizio e l'istante in cui risale fino alla soglia di fine

NOTA 1 Applicazione: ai fini della presente Norma, la durata di un buco di tensione è compresa tra 10 ms fino a 1 min compreso.

NOTA 2 Per gli eventi polifase, un buco inizia quando una tensione cade al di sotto della soglia di inizio del buco e termina quando tutte le tensioni sono uguali o superiori alla soglia di fine del buco.

TENSIONE RESIDUA DEL BUCO DI TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.26]

valore minimo della tensione efficace registrato durante un buco di tensione

FLUTTUAZIONE DI TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.28]

[IEV 161-08-05, 1990-08]

serie di variazioni di tensione o variazione ciclica dell'involuppo di tensione

SOVRATENSIONE TEMPORANEA A FREQUENZA DI RETE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.29]

aumento temporaneo della tensione efficace in un punto del sistema di alimentazione elettrica al di sopra di una soglia di inizio specificata

NOTA 1 Applicazione: ai fini della presente Norma, la soglia di inizio della sovrarelevazione di tensione è uguale al 110 % della tensione di riferimento (vedi CLC/TR 50422, art. 3, per ulteriori informazioni).

NOTA 2 Ai fini della presente Norma, una sovrarelevazione di tensione è un disturbo elettromagnetico a due dimensioni, il cui livello è determinato sia dalla tensione che dal tempo (durata).

NOTA 3 Le sovrarelevazioni di tensione possono apparire tra le fasi o tra le fasi e terra. A seconda dell'assetto

durata della sovrarelevazione di tensione

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.30]

tempo tra l'istante in cui la tensione efficace in un punto particolare di un sistema di alimentazione elettrica supera la soglia di inizio e l'istante in cui essa cade al di sotto della soglia di fine

NOTA Applicazione: ai fini della presente Norma, la durata di un buco di tensione è compresa tra 10 ms fino a 1 min compreso.

SQUILIBRIO DI TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.33]

in un sistema polifase, condizione nella quale i valori efficaci delle tensioni tra le fasi (componente fondamentale), o gli angoli di fase tra tensioni di fase consecutive, non sono tutti uguali

NOTA 1 Il grado di disuguaglianza è generalmente espresso come rapporti tra le componenti a sequenza inversa e zero e la componente a sequenza diretta.

NOTA 2 Nella presente Norma, lo squilibrio di tensione è considerato in relazione ai sistemi trifase e solo per la sequenza di fase negativa.

VARIAZIONE DELLA TENSIONE

[CEI EN 50160:2011-05 par. 3.34]

aumento o diminuzione della tensione efficace normalmente provocato dalle variazioni del carico

CABINA PRIMARIA – CP

Impianto di trasformazione dell'energia elettrica da alta tensione a media tensione

Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente - ARERA

Organismo indipendente, istituito dalla legge 14 novembre 1995, n. 481 con il compito di tutelare gli interessi dei consumatori e di promuovere la concorrenza, l'effi-

cienza e la diffusione di servizi con adeguati livelli di qualità, attraverso l'attività di regolazione e di controllo.

NOTA 1 In precedenza ARERA era denominata prima AEEG e, successivamente, ARERA. Le Delibere (o Deliberazioni) emanate sotto le due precedenti denominazioni sono adesso Delibere ARERA denominate come tali.

COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO - CEI

Associazione di diritto privato, senza scopo di lucro, responsabile in ambito nazionale della normazione tecnica in campo elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni, con la partecipazione diretta - su mandato dello Stato Italiano - nelle corrispondenti organizzazioni di normazione europea

TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

[D.lgs. 16 marzo 1999, n. 79]

Attività di trasporto e trasformazione dell'energia elettrica sulla rete interconnessa ad alta tensione ai fini della consegna ai clienti, ai distributori [...]

DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

[D.lgs. 16 marzo 1999, n. 79]

Trasporto e trasformazione di energia elettrica su reti di distribuzione a media e bassa tensione per le consegne ai clienti finali



5 Quadro regolatorio

Contenuti principali della Deliberazione ARERA
n.646/2015/R/eel

Atti regolatori sul monitoraggio della tensione

Monitoraggio qualità della tensione - QUEEN

Contratti per la qualità
(Allegato A alla Del. 646/2015/R/eel)

Prossimi passi sulla regolazione dei clienti industriali

L'[Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente](#), con riferimento alle attività di [distribuzione dell'energia elettrica](#), definisce:

- le condizioni tecnico-economiche di accesso e connessione alle reti;
- le tariffe;
- i livelli generali di qualità del servizio tecnica e commerciale;
- le condizioni di svolgimento dei servizi, monitorando le attività degli operatori di settore.

Con specifico riferimento alla qualità del servizio, l'Autorità procede, per ciascun periodo regolatorio, ad aggiornare gli aspetti di dettaglio della regolazione, quali i livelli di riferimento ed i livelli obiettivo dei parametri da monitorare.

A partire dal 2000, anno di avvio della regolazione della qualità del servizio in Italia, ogni anno ARERA definisce gli obiettivi di miglioramento per le imprese distributrici; in particolare, dal 2005 l'ARERA ha istituito l'obbligo per i distributori di registrare anche le interruzioni brevi senza preavviso e dal 2008 tale obbligo è stato esteso anche alle interruzioni transitorie, dato il sempre crescente numero di utenti dotati di dispositivi elettronici sensibili anche a brevissime interruzioni. Al fine di assicurare una qualità del servizio sempre crescente a tutte le tipologie di utenze connesse alla rete di distribuzione, l'Autorità ha successivamente promosso una campagna di monitoraggio dei fenomeni ed eventi di qualità della tensione sulle reti di distribuzione MT, che è attualmente in corso.

Nell'ambito della qualità del servizio, oltre agli aspetti di continuità della fornitura, la ARERA regola anche gli aspetti legati alla qualità della tensione. In particolare, a partire dall'entrata in vigore della deliberazione 198/11, l'ARERA¹⁰ ha conferito l'obbligo in carico a ciascun distributore di installare, su tutte le proprie semisbarre MT che alimentano utenti MT o BT, delle apparecchiature di misura (AdM) per il monitoraggio della qualità della tensione. Tale installazione di componenti sulle [cabine primarie](#) è stata completata da E-Distribuzione S.p.A. prima dell'inizio del 2015.

Sempre sul tema della power quality, va segnalata anche una precedente attività, sostenuta dalla stessa ARERA, sul tema qualità del servizio denominata progetto QUEEN, di cui si parlerà al paragrafo 5.3.

Per i contenuti specifici del testo integrato per la regolazione attualmente in vigore, si rimanda al successivo paragrafo 5.1.

¹⁰ La Deliberazione 198/11 non è più in vigore alla data di redazione della presente Guida; tale provvedimento è stato aggiornato e sostituito dalla Deliberazione n. 646/2015/R/eel

5.1 Contenuti principali della Deliberazione ARERA n.646/2015/R/eel

L'Allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#), (*"Testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica per il periodo di regolazione 2016-2023 - TIQE"*), entrato in vigore lo scorso 1 gennaio 2016, stabilisce i criteri di regolazione della qualità del servizio per le reti di distribuzione per gli anni 2016 - 2023 e definisce gli standard per tutte le imprese di distribuzione rientranti in tale regolazione con riferimento al numero e alla durata delle interruzioni per i clienti MT e BT e le iniziative per la qualità della tensione.

Oltre alla definizione dei livelli di riferimento per i parametri di qualità del servizio (sia tecnica che commerciale), la regolazione prevede l'obbligo per tutti i distributori di energia elettrica di detenere un registro delle interruzioni occorse a tutti i clienti alimentati che consenta la verifica sia da parte della stessa Autorità che da parte dei Clienti; in particolare per i Clienti alimentati in media e alta tensione, le imprese sono tenute a comunicare l'elenco di tutte le interruzioni (lunghe, brevi e transitorie) subite da ciascun cliente ed il relativo conteggio per le interruzioni lunghe e brevi ricadenti nella regolazione individuale e su cui è prevista l'erogazione di indennizzi automatici.

Il meccanismo introdotto dall'Autorità stabilisce, nel caso in cui gli utenti MT abbiano subito interruzioni in numero superiore allo standard previsto in Delibera per il proprio ambito di concentrazione di appartenenza, che il Distributore eroghi un indennizzo automatico a condizione che l'impianto del cliente risulti adeguato ai requisiti tecnici previsti dal [TIQE](#) stesso all'articolo 39 e successivi. Tale adeguamento ai requisiti tecnici è volontario, ma, nel caso di mancato adeguamento, è previsto un corrispettivo tariffario specifico (CTS) a carico degli utenti che non si adeguano.

Il testo dell'Allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#) è strutturato in III parti.

La prima parte: *"Distribuzione dell'energia elettrica: regolazione della continuità del servizio e della qualità della tensione"* è incentrata sulla trattazione delle interruzioni del servizio e sui provvedimenti atti alla riduzione del numero e della durata di tali interruzioni al fine di migliorare la continuità del servizio.

Tra le definizioni riportate dall'articolo 1 dell'Allegato A della Delibera si ricordano le seguenti:

- Interruzione è la condizione nella quale la tensione sul punto di prelievo o immissione dell'energia elettrica di un utente è inferiore al 5% della tensione dichiarata su tutte le fasi di alimentazione (definizione tratta dalla norma CEI EN 50160);
- Interruzione con preavviso è l'interruzione dovuta all'esecuzione di interventi e manovre programmati sulla rete di distribuzione, preceduta dal preavviso;
- Interruzione senza preavviso è l'interruzione non preceduta dal preavviso;
- Interruzioni lunghe: di durata oltre 3 minuti;

- interruzioni brevi: di durata oltre 1 secondo fino a 3 minuti;
- interruzioni transitorie: di durata minore o uguale a 1 secondo.

Per ciascun utente di Media Tensione, la regolazione prevede un numero massimo di interruzioni senza preavviso all'anno pari a:

- interruzioni lunghe + interruzioni brevi all'anno negli ambiti di alta concentrazione: 6 interruzioni;
- interruzioni lunghe + interruzioni brevi all'anno negli ambiti di media concentrazione: 9 interruzioni;
- interruzioni lunghe + interruzioni brevi all'anno negli ambiti di bassa concentrazione: 10 interruzioni.

Per quanto riguarda il tema della qualità della tensione E-Distribuzione S.p.A., ottemperando a quanto indicato nell'articolo 65 dell'Allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#), monitora e registra la qualità della tensione in ogni semisbarra MT di cabina primaria e, in accordo con le previsioni dell'art. 69 dello stesso provvedimento, pubblica sul proprio sito web i dati relativi ai buchi di tensione nel formato e con i contenuti previsti dalla delibera stessa (tali dati sono consultabili da ogni cliente MT che si registri al portale di E-Distribuzione S.p.A.).

Inoltre, la regolazione vigente prevede:

- il monitoraggio dei fenomeni di power quality, con esplicito riferimento ai buchi di tensione;
- la possibilità per le imprese distributrici di stipulare dei contratti per la qualità¹¹ con gli utenti MT che lo richiedono, nel rispetto di criteri di non discriminazione e che assicurino comunque livelli di qualità non inferiori a quelli definiti dall'Autorità. Tali contratti per la qualità sono approfonditi nel successivo paragrafo 5.4 della presente Guida.

La seconda parte dell'Allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#) – “Distribuzione e misura dell'energia elettrica: regolazione dei livelli specifici e generali di qualità commerciale” definisce i livelli di qualità commerciale destinati ai clienti finali delle imprese di distribuzione riferiti a specifiche prestazioni commerciali. In particolare tale sezione disciplina i tempi massimi riguardanti la preventivazione e l'esecuzione di lavori, le prestazioni assoggettabili alla preventivazione rapida, le modalità di richiesta della verifica della tensione e del gruppo di misura e la riattivazione della fornitura a seguito di morosità.

La terza e ultima parte dell'Allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#) – “Promozione selettiva degli investimenti nelle reti di distribuzione” presenta le disposizioni finalizzate all'incentivazione dello sviluppo di investimenti innovativi sulle reti di distribuzione che massimizzino i benefici al livello di sistema tramite meccanismi “output-based”. In particolare, l'Autorità ha identificato come prioritari gli aspetti relativi sia alle funzionalità innovative delle reti di distribuzione in media tensione nelle aree ad elevata penetrazione della generazione distribuita a fonte rinnovabile, sia all'evoluzione delle reti di distribuzione nelle aree urbane, con particolare riferimento

alle colonne montanti degli edifici. Sono inoltre previste sperimentazioni smart city, con funzionalità innovative sulle reti di bassa tensione.

Si precisa che tale sezione del [TIQE](#) è stata aggiornata con l'emissione della Deliberazione n.781/2016/R/eel che ha previsto un'estensione delle tempistiche per la conclusione delle sperimentazioni in merito alle funzionalità avanzate di rete al fine di permettere agli operatori di proporre all'Autorità analisi più dettagliate.

A completamento del quadro regolatorio relativo alla regolazione della continuità del servizio si cita, infine, la [Deliberazione n. 549/2016/R/eel](#), con cui l'ARERA ha integrato la regolazione introducendo i principi generali per la regolazione sperimentale incentivante e solo premiante alla riduzione della durata delle interruzioni con preavviso sulle reti BT ed MT riferita al triennio 2017-2023.

5.2 Atti regolatori sul monitoraggio della tensione

A partire dal 1999 l'ARERA ha emesso la Direttiva concernente la disciplina dei livelli generali di qualità relativi alle interruzioni senza preavviso lunghe del servizio di distribuzione dell'energia elettrica (Delibera n. 202/99) con cui è stata avviata la regolazione della qualità del servizio fissando i livelli di riferimento per ambiti territoriali.

A decorrere dal 2002, l'ARERA ha introdotto la registrazione delle interruzioni senza preavviso brevi e transitorie (Delibera n. 247/04); tali prescrizioni sono diventate poi obbligatorie a decorrere dal 1 gennaio 2006, anno in cui è stata introdotta la registrazione delle interruzioni brevi solo in assetto reale di rete (Delibera n. 210/05); ciò al fine di disporre di dati individuali di continuità per i clienti MT anche per le interruzioni brevi, e quindi di poter introdurre standard specifici per il numero di interruzioni lunghe e brevi. Specifiche prescrizioni relativamente ai clienti MT, sulla necessità di adeguamento degli impianti e sulla corresponsione del corrispettivo tariffario specifico (CTS) in caso di mancato adeguamento, sono state introdotte dall'Autorità con il provvedimento n.246/06 che ha modificato il Testo Integrato allegato alla Delibera 4/04.

L'allegato A alla Delibera n.4/04 ha introdotto, inoltre, gli aspetti relativi alla Qualità della tensione e alla possibilità per i clienti di sottoscrivere con i distributori specifici contratti per la qualità. Tali prescrizioni sono state poi mantenute ed integrate dall'Autorità anche nelle successive emissioni dei Testi Integrati sulla qualità del servizio ([TIQE](#)) a cui si fa riferimento nei paragrafi introduttivi della presente Guida.

¹¹ Allegato A Delibera 646/2015/R/eel – Titolo 9

5.3 Monitoraggio qualità della tensione - QUEEN

Nel 2005 la ARERA ha promosso una campagna di monitoraggio della Qualità della Tensione della rete di distribuzione MT, con l'obiettivo di:

- conoscere le prestazioni della rete di distribuzione MT in termini di parametri PQ e pubblicare i risultati registrati;
- correlare i parametri misurati al tipo di reti e con la sua struttura (trasformatori di potenza AT/MT, potenza di corto circuito, ecc.);
- promuovere misurazioni individuali e contratti PQ attraverso una partecipazione volontaria dei clienti alla campagna;
- verificare la possibilità di introdurre obblighi di misura per i Distributori con il conseguente regolamento economico per la registrazione dei alcuni indicatori di PQ;
- confermare o rivedere i valori limite degli indicatori PQ in modo da riflettere le caratteristiche del sistema elettrico italiano.

Tale campagna è stata realizzata dal CESI e CESI Ricerca (oggi RSE) e, ai fini di raccogliere una quantità di dati statisticamente rappresentativa degli eventi, ha avuto una durata di tre anni.

Sono stati avviati due sistemi di monitoraggio, uno per la rete MT ed uno per la rete AT. Per entrambi si è effettuato il monitoraggio dei seguenti parametri della qualità della tensione:

- ampiezza e variazioni della tensione di alimentazione (variazioni lente a frequenze prossime a 50 Hz);
- interruzioni della tensione di alimentazione (interruzioni transitorie, brevi e lunghe);
- buchi di tensione;
- armoniche;
- flicker;
- squilibrio della tensione;
- variazioni rapide della tensione.

Il monitoraggio è stato effettuato installando 600 measurement units (MU), che attraverso opportuni trasduttori di tensione e corrente, hanno collettato le informazioni in un Sistema Centrale di acquisizione dati, per l'analisi finale dei dati e la loro messa a disposizione su report dedicati (tramite software Queen). Tali apparecchiature sono state installate in opportuni punti rappresentativi della rete, scelti tenendo conto della struttura delle rete sottesa (tipologia del trasformatori e tipo di linee) e della tipologia (urbana o montana).

I risultati della campagna di misure hanno portato a:

- una maggiore consapevolezza dei fenomeni legati alla Power Quality;
- una migliore conoscenza delle cause che li generano;

- nuovi sviluppi a livello normativo e regolatorio.

Per approfondimenti e dati aggiornati si rimanda al sito <http://queen.erse-web.it/>, ove è disponibile al pubblico, agli operatori e agli utenti del settore, un portale che permette la consultazione del database di raccolta dei dati acquisiti durante la campagna di misura della qualità della tensione in MT dal 2006. Sul sito vengono riportate tabelle aggregate o di sintesi personalizzabili, nonché approfondimenti su trend storici e statistiche.

Di seguito si riporta una tabella nella quale si indicano, per l'anno 2008, il numero medio nazionale di **buchi di tensione** per punto di misura equivalente, classificati in classi di durata e livello di tensione residua registrati nelle cabine primarie (CP) oggetto della sperimentazione.

		DURATA				
		20-100 [ms]	100-500 [ms]	0.5-1 [s]	1-3 [s]	3-60 [s]
T. RESIDUA [%]	90 > u ≥ 85	17.16	6.32	0.90	0.51	0.49
	80 > u ≥ 70	21.97	20.41	1.18	0.34	0.02
	70 > u ≥ 40	18.69	33.07	0.73	0.10	0.02
	40 > u ≥ 10	3.28	14.01	0.37	0.03	0.01
	10 > u ≥ 1	0.32	1.44	0.03	0.02	0.00

Tabella 1: Numero medio nazionale di buchi di tensione per punto di misura equivalente registrato nel corso del 2008

Il campione delle **cabine primarie** scelto è statisticamente rappresentativo del comportamento della rete di distribuzione in MT, in questo modo il numero di **buchi di tensione** misurati su una semisbarra in cabina primaria costituisce una buona rappresentazione di quanto rilevabile dai clienti. Infatti tale numero di **buchi di tensione** rappresenta una buona stima di quelli rilevati lungo le linee MT alimentate dalla medesima semisbarra. La differenza è in buona parte data dal numero delle interruzioni brevi e lunghe che interessano la linea direttamente alimentante il cliente. Si noti infine che tale classificazione non è la classificazione indicata nella EN 50160:2011, pertanto riveste carattere statistico non utilizzabile come riferimento ai fini di leva normativa.

Di carattere maggiormente informativo è invece il sito <http://powerquality.ricerca-disistema.it/>. Esso rientra nell'ambito delle azioni sviluppate nel più ampio programma di ricerca denominato 'Ricerca di Sistema' (DM MICA 26/01/2000 e 17/04/2001 e successivi decreti) ed è rivolto all'innovazione tecnica e tecnologica del Sistema Elettrico nazionale per migliorarne le prestazioni dal punto di vista della sicurezza e della qualità, della compatibilità ambientale, della economicità e dell'efficienza. In questo sito è possibile inoltre accedere ad un filmato di PQ learning, articoli scientifici, disamine tecniche, nonché a un questionario di indagine conoscitiva finalizzato ad

identificare lo stato della qualità dell'alimentazione elettrica per utenze in alta, media e bassa tensione sul territorio nazionale.

5.4 Contratti per la qualità (Allegato A alla Del. 646/2015/R/eel)

L'allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#) prevede la facoltà per le imprese distributrici di poter stipulare contratti per la qualità con gli utenti finali MT che ne fanno richiesta, anche tramite il loro venditore di riferimento, nel rispetto dei criteri fissati dall'Autorità stessa.

La stipula di tali contratti per la qualità deve garantire il rispetto di condizioni non discriminatorie assicurando in ogni caso livelli di qualità del servizio superiori a quelli definiti dall'Autorità per gli utenti MT o, in mancanza di tali livelli di riferimento, del peggior livello di qualità registrato sul punto di consegna del cliente con cui viene sottoscritto il Contratto.

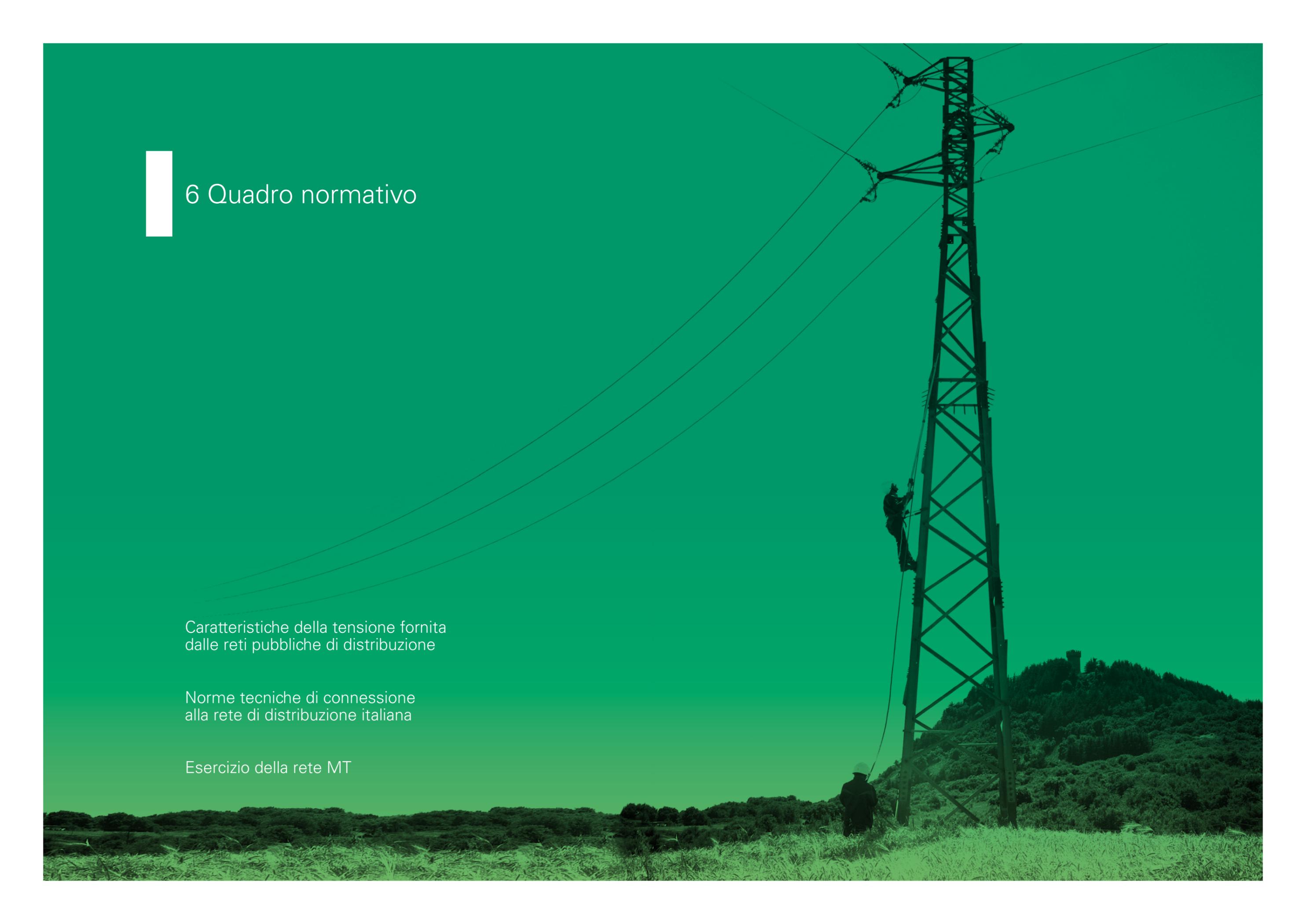
Nei contratti per la qualità le parti definiscono il livello di qualità concordata che l'impresa distributtrice si impegna a rispettare, il corrispettivo da versare da parte dell'utente per tale servizio e le clausole penali in caso di inadempimento dell'impresa distributtrice, specificando eventuali casi di esclusione. Il livello di qualità concordato è espresso all'interno del contratto come soglia applicata ad uno o più indicatori di continuità del servizio o di qualità della tensione.

L'attuale regolazione prevede, infine, possibili forme contrattuali per gli utenti MT definite come speciali, che verranno regolate con successive disposizioni da parte dell'Autorità.

5.5 Prossimi passi sulla regolazione dei clienti industriali

Con la Determinazione n. 6/2016 l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente ha istituito un Tavolo di Lavoro, mirato all'approfondimento di diversi importanti aspetti sulla qualità del servizio, tra cui la riferibilità degli standard individuali per gli utenti MT a zone industrializzate e la definizione di forme contrattuali speciali per gli utenti MT.

Tale tavolo tecnico è attualmente in corso e coinvolge, oltre agli operatori di settore, anche Confindustria. Le conclusioni condivise dal tavolo, le proposte regolatorie avanzate da tutti gli stakeholder e le soluzioni tecniche individuate congiuntamente all'Autorità, unitamente alla base dati fornita dalla campagna di registrazione dei [buchi di tensione](#) condotta dalle imprese distributtrici, costituiranno un'importante base su cui articolare la futura regolazione dei clienti industriali.



6 Quadro normativo

Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione

Norme tecniche di connessione alla rete di distribuzione italiana

Esercizio della rete MT

Il rispetto dei livelli di qualità del servizio e della tensione per le reti di **trasmissione**, **distribuzione** ed il coordinamento dell'emissione dei disturbi nelle reti, deve essere affrontato e risolto con la collaborazione di tutte le parti in causa, ovvero:

- enti normativi e regolatori a livello nazionale ed internazionale;
- distributori di energia elettrica (**DSO**);
- gestori delle reti di trasmissione nazionali (**TSO**);
- costruttori di apparecchi utilizzatori e di apparati;
- clienti;
- progettisti e consulenti;
- installatori.

Il problema dei disturbi e della compatibilità elettromagnetica è affrontato a livello nazionale ed internazionale da vari organismi tecnici e normativi, tra cui:

- CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano)
- CENELEC (Comitato Europeo per la Normalizzazione Elettrotecnica)
- CIGRE (Conference International del Grand Réseaux Electriques)
- CIRED (International Conference and Exhibition on Electricity Distribution)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- UIE (International Union for Electroheat)
- EUROELECTRIC

In generale, compito della normativa è sia quello di definire livelli di compatibilità per il disturbo in rete, sia, per i singoli apparecchi utilizzatori, fissare limiti di emissione e livelli di immunità.

6.1 Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione

6.1.1 CEI EN 50160

La Norma **CEI EN 50160** definisce, descrive e specifica le principali caratteristiche della tensione al punto di consegna dell'utente alle reti pubbliche di distribuzione di energia di Bassa, Media e Alta Tensione, prendendo in considerazione il tema della qualità dell'alimentazione elettrica per fornire condizioni di alimentazione soddisfacenti al funzionamento delle apparecchiature dell'utente.

La norma limita il suo campo alla sola "fornitura" di energia elettrica, escludendo la definizione di livelli di compatibilità, di emissione, o di immunità, per le apparecchiature e limitandosi a considerare, invece, l'energia elettrica come un "prodotto" per il quale definisce e descrive i limiti entro cui gli utenti alimentati da una rete di distribuzione pubblica possono aspettarsi che rimangano contenute le caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione, prevedendo valori solo indicativi per:

- i **buchi di tensione**;
- le **interruzioni** brevi;
- le **interruzioni** lunghe;

Occorre, comunque, notare che le caratteristiche della tensione all'interno dell'impianto dell'utente possono essere diverse da quelle ai terminali di fornitura per fattori dipendenti dalle modalità progettuali e realizzative degli impianti utente stessi. È responsabilità dell'utente valutare opportunamente, sulla base di criteri di convenienza tecnico-economica, le azioni da mettere in atto per desensibilizzare il proprio processo produttivo da disturbi dell'alimentazione elettrica normalmente presenti sulle reti di distribuzione.

La Norma non è applicabile in condizioni anormali di esercizio, quali ad esempio manutenzioni della rete, situazioni di guasto, impianto utente non conforme alle norme, condizioni climatiche eccezionali (per l'elenco completo si veda il par. 1.1 della Norma CEI EN 50160).

Vanno esclusi infine quei casi in cui le apparecchiature o gli impianti degli utenti non siano conformi alle norme ed alle regolamentazioni.

La Norma suddivide la trattazione per livello di tensione¹², secondo le seguenti definizioni:

- Bassa Tensione: $U_n \leq 1\text{kV}$
- Media Tensione: $1\text{kV} < U_n \leq 36\text{kV}$
- Alta Tensione: $36\text{kV} < U_n \leq 150\text{kV}$

Per ciascun livello di tensione la Norma descrive le caratteristiche dell'alimentazione suddividendo i fenomeni perturbativi in:

- fenomeni continui, cioè deviazioni dal valore nominale che si verificano in modo continuo nel tempo;
- eventi di tensione, cioè deviazioni improvvise e significative dalla forma d'onda normale o desiderata.

6.1.2 Normativa EMC/EMI

La definizione della strategia di contenimento dei disturbi ha mosso i primi passi sin da quando l'alimentazione elettrica si è affermata come servizio generalizzato,

¹² Le definizioni non sono completamente coerenti con quelle IEC, come anticipato nella presente Guida

essenzialmente sotto la forma di criteri di allacciamento di carichi particolari, la cui tipologia si è andata progressivamente allargando.

L'obiettivo fondamentale del coordinamento EMC, trattato quasi integralmente a livello IEC; è di assicurare che l'emissione di ciascuna sorgente individuale di disturbo sia tale che la combinazione di tutte le emissioni originate da differenti sorgenti non comporti un superamento del livello convenzionalmente accettato di disturbo per l'**ambiente elettromagnetico** (livello di compatibilità) e che l'immunità dell'apparecchiatura consenta un livello appropriato di prestazione della stessa, in presenza del livello di disturbo convenzionalmente previsto. Purtroppo la complessità della materia e le interrelazioni reciproche sono tali che:

“a causa delle diverse caratteristiche dei vari sistemi, non si possono fornire regole generali e i costruttori dei sistemi stessi devono assicurare la compatibilità tra i loro sistemi e la rete di alimentazione”.

L'assenza di un quadro normativo integrato relativo alle tematiche EMC/EMI si ricava anche dall'esposto dell'allegato P della norma CEI 0-16.

L'allegato P contiene indicazioni di “buon senso” che dovrebbero essere di ausilio a progettisti/installatori/utenti, al fine di progettare un impianto che allacciato alla rete di distribuzione pubblica in un determinato punto, sia “adeguatamente immune” e “tollerabilmente disturbante” con riferimento ai fenomeni EMC.

L'allegato P non contiene infatti indicazioni precise di progettazione e/o metodologie che consentano l'effettuazione di prove ripetibili sulle apparecchiature che costituiscono l'impianto.

Come anticipato, tale coordinamento non è completamente normato a livello internazionale.

Per prima cosa si dovrebbe notare che alcuni disturbi hanno origine da fenomeni atmosferici, specialmente fulmini, o nella normale e inevitabile risposta di un sistema di alimentazione ben progettato in presenza di guasti elettrici o commutazione del carico o di particolari dispositivi. I disturbi principali in questa categoria sono le sovratensioni transitorie, i **buchi di tensione** e le brevi **interruzioni** di alimentazione. I limiti di emissione non possono essere assegnati per questi fenomeni, dato che le sorgenti che li emettono sono ampiamente incontrollabili. In questo caso il livello di compatibilità è destinato a riflettere il livello di severità prevedibile nella pratica. Molti disturbi, tuttavia, hanno origine nelle apparecchiature che utilizzano l'alimentazione elettrica pubblica oppure, in misura minore, nelle apparecchiature che fanno parte del sistema di alimentazione stesso. Il disturbo insorge quando dette apparecchiature conducono una corrente che non è una funzione regolare o costante della tensione alimentata, ma contiene brusche variazioni o che non sia un ciclo completo della forma d'onda della tensione. Queste correnti irregolari attraversano le impedenze delle reti di alimentazione e generano corrispondenti irregolarità sulla tensione. Benché per attenuare gli effetti di una sorgente specifica di disturbo venga, a volte, presa in considerazione la riduzione di alcune impedenze della rete, in generale queste sono più spesso fisse sulla base della regolazione della tensione e di altre considerazioni, e non hanno una diretta relazione con l'attenuazione dei disturbi. Le irregolarità della tensione a loro volta sono condotte verso altre apparec-

chiature alcune delle quali possono esserne disturbate. I livelli di severità ai quali essi raggiungono le altre apparecchiature dipendono da:

- tipologia di apparecchiature che costituiscono le sorgenti di emissione,
- numero e posizione di tali sorgenti funzionanti in un dato momento,
- come le emissioni da tali diverse sorgenti si combinino insieme per raggiungere livelli particolari di disturbo in punti specifici.

Questi livelli non dovrebbero superare il livello di compatibilità. Quindi, i limiti di emissione e il livello di compatibilità sono in relazione più complessa rispetto a quella con i livelli di immunità. Non solo rappresentano una sorgente di emissioni molto diverse, ma anche, specialmente nel caso di disturbi a bassa frequenza, qualsiasi sorgente a cui si deve applicare il limite è solo una delle molte sorgenti che si combinano insieme per produrre il livello di disturbo ambientale rappresentato dal livello di compatibilità.

Nel fissare il livello di compatibilità per ciascun fenomeno si deve tenere conto che il livello di compatibilità è il livello del disturbo che può essere previsto nell'ambiente con una piccola probabilità (< 5%) che venga superato. Per alcuni disturbi i livelli di severità osservati sono crescenti, quindi è richiesta una prospettiva di lungo termine, ovvero:

- il suddetto livello di disturbo deve essere tale che possa essere mantenuto introducendo limiti praticabili sulle emissioni delle apparecchiature nell'ambiente.
- il livello di disturbo deve essere anche tale da consentire alle apparecchiature che funzionano nel relativo ambiente di essere immuni con un margine adeguato.

6.1.3 Family Standard IEC 61000

La serie IEC 61000 è pubblicata in parti separate secondo la seguente struttura¹³:

Parte 1:

- generalità;
- considerazioni generali (introduzione, principi fondamentali)
- definizioni,
- terminologia

Parte 2: Ambiente

- descrizione dell'ambiente,
- classificazione dell'ambiente,
- livelli di compatibilità

Parte 3: Limiti

¹³ Ogni Parte è ulteriormente suddivisa in diverse Parti che saranno pubblicate in forma di Norme Internazionali, di specifiche tecniche o di rapporti tecnici, alcuni dei quali sono già stati pubblicati come Sezioni.

- limiti di emissione
- limiti di immunità (a condizione che essi non cadano sotto la responsabilità dei comitati di prodotto)

Parte 4: Tecniche di prova e di misura

Parte 5: Guide di installazione e attenuazione

Part 6: Norme generiche

Parte 9: Miscellanea

Ai fini dello scopo della presente guida sono di primario interesse le parti 2 e parti 3 del sopraindicato family standard, in quanto si prefiggono di definire la relazione tra il livello di compatibilità e i limiti di emissione, anche se come espressamente evidenziato dalla 61000-2-2 [4.10.5].

6.1.3.1 Parte 2 di Family Standard IEC 61000

La parte 2 della famiglia 61000 si articola su numerose norme, ma ai fini della presente guida si richiamano solo quelle di interesse.

- √ IEC 61000-2-1 Description of the environment - Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems

Abstract

Has the status of a technical report, and gives information on the various types of disturbances that can be expected on public power supply systems. The following disturbance phenomena are considered: - harmonics - inter-harmonics - voltage fluctuations - voltage dips and short supply interruptions - voltage unbalance - mains signalling - power frequency variation - d.c. components.

- √ IEC 61000-2-2 Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione dei segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a bassa tensione

Abstract

This standard is concerned with conducted disturbances in the frequency range from 0 kHz to 9 kHz, with an extension up to 148,5 kHz specifically for mains signalling systems. It gives compatibility levels for public low voltage a.c. distribution systems having a nominal voltage up to 420 V, single-phase or 690 V, three-phase and a nominal frequency of 50 Hz or 60 Hz. Compatibility levels are specified for electromagnetic disturbances of the types which can be expected in public low voltage power supply systems, for guidance in: - the limits to be set for disturbance emission into public power supply systems; - the immunity limits to be set by product committees and others for the equipment exposed to the conducted disturbances present in public power supply systems.

- √ IEC 61000-2-12 Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione di segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a media tensione

Abstract

This part of IEC 61000 is concerned with conducted disturbances in the frequency range from 0 kHz to 9 kHz, with an extension up to 148,5 kHz specifically for mains signalling systems. Compatibility levels are specified for electromagnetic disturbances of the types which can be expected in public medium voltage power supply systems, for guidance in: a) the limits to be set for disturbance emission into public power supply systems (including the planning levels defined in 3.1.5); b) the immunity limits to be set by product committees and others for the equipment exposed to the conducted disturbances present in public power supply systems. The disturbance phenomena considered are: voltage fluctuations and flicker, harmonics up to and including order 50, inter-harmonics up to the 50th harmonic, voltage distortions at higher frequencies (above 50th harmonic), voltage dips and short supply interruptions, voltage unbalance, transient overvoltages, power frequency variation, d.c. components, mains signaling. The medium-voltage systems covered by this standard are public distribution systems supplying either: a) private installations in which equipment is connected directly or through transformers, or b) substations feeding public low-voltage distribution systems.

- √ IEC 61000-2-4 Livelli di compatibilità per disturbi condotti in bassa frequenza negli impianti industriali

Abstract

IEC 61000-2-4:2002 is concerned with conducted disturbances in the frequency range from 0 kHz to 9 kHz. It gives numerical compatibility levels for industrial and non-public power distribution systems at nominal voltages up to 35 kV and a nominal frequency of 50 Hz or 60 Hz. Compatibility levels are specified for electromagnetic disturbances of the types which can be expected at any in-plant point of coupling within industrial plants or other non-public networks, for guidance in

- a) limits to be set for disturbance emission into industrial power supply systems;
- b) the choice of immunity levels for the equipment within these systems. The contents of the corrigendum of July 2014 have been included in this copy.

La presente norma stabilisce delle classi di compatibilità per gli apparati elettrici che in funzione dell'ambiente di installazione sono più o meno severe. Le **classi di compatibilità (immunità)** di seguito elencate saranno trattate esponendone i limiti dal paragrafo 6.1.4.1.2.

- Classe 1. Questa classe si applica ad alimentazioni protette e ha livelli di compatibilità più bassi dei livelli della rete pubblica. Essa si riferisce all'impiego di apparecchiature molto suscettibili ai disturbi dell'alimentazione, per esempio la strumentazione dei laboratori tecnologici, alcune apparecchiature di automazione e protezione, alcuni computer ecc
- Classe 2. Questa classe si applica in genere ai PCC ed agli IPC negli ambienti industriali e di altre reti non pubbliche. I livelli di compatibilità di questa classe sono solitamente identici a quelli delle reti pubbliche. Pertanto, i componenti destinati ad applicazioni nelle reti pubbliche possono essere impiegati in questa classe di ambiente industriale.
- Classe 3. Questa classe si applica soltanto ad IPC in ambienti industriali. Essa ha livelli di compatibilità più alti di quelli della classe 2 per alcuni fenomeni di disturbo.

Per esempio, questa classe dovrebbe essere considerata quando si riscontra una delle seguenti condizioni:

- la maggior parte del carico è alimentata tramite convertitori;
- sono presenti macchine saldatrici;
- motori di grossa potenza vengono avviati frequentemente;
- i carichi variano rapidamente.

La classe applicabile a nuovi impianti e ad ampliamenti di impianti esistenti non può essere determinata a priori e dovrebbe riferirsi al tipo di apparecchiatura e processo in esame.

Nota:

1 Gli ambienti della classe 1 contengono normalmente apparecchiature che richiedono protezione tramite apparati come sistemi di alimentazione di continuità (UPS), filtri o soppressori di impulsi.

2 In alcuni casi apparecchiature altamente sensibili possono richiedere livelli di compatibilità più bassi di quelli relativi agli ambienti della classe 1. I livelli di compatibilità sono poi da concordare caso per caso (ambiente controllato).

3 L'alimentazione di carichi fortemente disturbanti, come forni ad arco e grossi convertitori che vengono generalmente alimentati da sbarre separate, ha frequentemente livelli di disturbo oltre la classe 3 (ambiente severo). In tali condizioni speciali i livelli di compatibilità dovrebbero essere concordati.

4 Tenendo presente la diversità degli ambienti industriali, è possibile che classi differenti si adattino a differenti fenomeni in qualunque rete data.

6.1.3.2 Parte 3 dello Family Standard IEC 61000

La parte 3 della famiglia 61000 si articola su numerose norme, ma ai fini della presente guida si richiamano solo quelle di interesse

- √ IEC TR 61000-3-6:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems

Abstract

This Technical Report, which is informative in its nature, provides guidance on principles which can be used as the basis for determining the requirements for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV public power systems (LV installations are covered in other IEC documents). For the purposes of this report, a distorting installation means an installation (which may be a load or a generator) that produces harmonics and/or interharmonics. The primary objective is to provide guidance to system operators or owners on engineering practices, which will facilitate the provision of adequate service quality for all connected customers. In addressing installations, this document is not intended to replace equipment standards for emission limits. The report addresses the allocation of the capacity of the system to absorb disturbances. It does not address how to mitigate disturbances, nor does it address how the capacity of the system can be increased. Since the guidelines outlined in this report are

necessarily based on certain simplifying assumptions, there is no guarantee that this approach will always provide the optimum solution for all harmonic situations. The recommended approach should be used with flexibility and judgment as far as engineering is concerned, when applying the given assessment procedures in full or in part. The system operator or owner is responsible for specifying requirements for the connection of distorting installations to the system. The distorting installation is to be understood as the customer's complete installation (i.e. including distorting and non-distorting parts). Problems related to harmonics fall into two basic categories:

- harmonic currents that are injected into the supply system by converters and harmonic sources, giving rise to harmonic voltages in the system. Both harmonic currents and resulting voltages can be considered as conducted phenomena.
- harmonic currents that induce interference into communication systems. This phenomenon is more pronounced at higher order harmonic frequencies because of increased coupling between the circuits and because of the higher sensitivity of the communication circuits in the audible range.

This report gives guidance for the co-ordination of the harmonic voltages between different voltage levels in order to meet the compatibility levels at the point of utilization. The recommendations in this report do not address harmonic interference phenomena in communication circuits (i.e. only the first of the above categories is addressed). This second edition cancels and replaces the first edition published in 1996 and constitutes a technical revision. This edition is significantly more streamlined than first edition, and it reflects the experiences gained in the application of the first edition. As part of this streamlining process, this second edition of IEC/TR 61000-3-6 does not address communications circuit interference. Clause 9 on this (section 10) was removed, as this did not suitably address emission limits for telephone interference. The scope has been adjusted to point out that IEC/TR 61000-3-6 does not address communications circuit interference. This edition has also been harmonised with IEC/TR 61000-3-7 and IEC/TR 61000-3-13. This Technical Report has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

Scope

This Technical Report, which is informative in its nature, provides guidance on principles which can be used as the basis for determining the requirements for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV public power systems (LV installations are covered in other IEC documents). For the purposes of this report, a distorting installation means an installation (which may be a load or a generator) that produces harmonics and/or interharmonics. The primary objective is to provide guidance to system operators or owners on engineering practices, which will facilitate the provision of adequate service quality for all connected customers. In addressing installations, this document is not intended to replace equipment standards for emission limits.

The report addresses the allocation of the capacity of the system to absorb disturbances. It does not address how to mitigate disturbances, nor does it address how the capacity of the system can be increased.

Since the guidelines outlined in this report are necessarily based on certain simplifying assumptions, there is no guarantee that this approach will always provide the optimum solution for all harmonic situations. The recommended approach should be used with flexibility and judgment as far as engineering is concerned, when applying the given assessment procedures in full or in part.

The system operator or owner is responsible for specifying requirements for the connection of distorting installations to the system. The distorting installation is to be understood as the customer's complete installation (i.e. including distorting and non-distorting parts).

Problems related to harmonics fall into two basic categories:

- Harmonic currents that are injected into the supply system by converters and harmonic sources, giving rise to harmonic voltages in the system. Both harmonic currents and resulting voltages can be considered as conducted phenomena.
- Harmonic currents that induce interference into communication systems. This phenomenon is more pronounced at higher order harmonic frequencies because of increased coupling between the circuits and because of the higher sensitivity of the communication circuits in the audible range. This report gives guidance for the co-ordination of the harmonic voltages between different voltage levels in order to meet the compatibility levels at the point of utilisation. The recommendations in this report do not address harmonic interference phenomena in communication circuits (i.e. only the first of the above categories is addressed). These disturbances need to be addressed in terms of international directives concerning the Protection of Telecommunication Lines against Harmful Effects from Electric Power and Electrified Railway Lines, International Telecommunication Union, ITU-T Directives or in terms of locally applicable standards.[...]¹⁴

- √ IEC TR 61000-3-7:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems

Abstract

This part of IEC 61000 provides guidance on principles which can be used as the basis for determining the requirements for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV public power systems (LV installations are covered in other IEC documents). For the purposes of this report, a fluctuating installation means an installation (which may be a load or a generator) that produces voltage flicker and/or rapid voltage changes. The primary objective is to provide guidance to system operators or owners on engineering practices which will facilitate the provision of adequate service quality for all connected customers. In addressing installations, this document is not intended to replace equipment standards for emission limits. This report addresses the allocation of the capacity of the system to absorb disturbances. It does not address how to mitigate disturbances, nor does it address how the capacity of the system can be increased. Since the guidelines outlined in this report are necessarily based on certain simplifying assumptions, there is no guarantee that this approach will always provide the

optimum solution for all flicker situations. The recommended approach should be used with flexibility and engineering judgment as far as engineering is concerned, when applying the given assessment procedures in full or in part. The system operator or owner is responsible for specifying requirements for the connection of fluctuating installations to the system. The fluctuating installation is to be understood as the customer's complete installation (i.e. including fluctuating and non fluctuating parts). Problems related to voltage fluctuations fall into two basic categories:

- Flicker effect from light sources as a result of voltage fluctuations;
- Rapid voltage changes even within the normal operational voltage tolerances are considered as a disturbing phenomenon.

The report gives guidance for the coordination of the flicker emissions between different voltage levels in order to meet the compatibility levels at the point of utilisation. This report primarily focuses on controlling or limiting flicker, but a clause is included to address the limitation of rapid voltage changes. This second edition cancels and replaces the first edition published in 1996 and constitutes a technical revision. This new edition is significantly more streamlined than the original technical report (Edition 1), and reflects the experiences gained in the application of the first edition. This technical report has also been harmonised with IEC/TR 61000-3-6 and IEC/TR 61000-3-13. This Technical Report has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

- √ IEC TR 61000-3-13:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Limits - Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems

Abstract

This part of IEC 61000 provides guidance on principles which can be used as the basis for determining the requirements for the connection of unbalanced installations (i.e. three-phase installations causing voltage unbalance) to MV, HV and EHV public power systems (LV installations are covered in other IEC documents). For the purposes of this report, an unbalanced installation means a three-phase installation (which may be a load or a generator) that produces voltage unbalance on the system. The connection of single-phase installations is not specifically addressed, as the connection of such installations is under the control of the system operator or owner. The general principles however may be adapted when considering the connection of single-phase installations. The primary objective is to provide guidance to system operators or owners on engineering practices, which will facilitate the provision of adequate service quality for all connected customers. In addressing installations, this document is not intended to replace equipment standards for emission limits. The report addresses the allocation of the capacity of the system to absorb disturbances. It does not address how to mitigate disturbances, nor does it address how the capacity of the system can be increased. Since the guidelines outlined in this report are necessarily based on certain simplifying assumptions, there is no guarantee that this approach will always provide the optimum solution for all unbalanced load situations. The recommended approach should be used with flexibility and judgment as far as engineering is concerned, when applying the given assessment procedures in full or in part. The system operator or owner is responsible for specifying requirements for the connection of installations

¹⁴ Sono presenti documenti su questo argomento che non vengono riportati in quanto non di interesse della presente guida.

which may cause unbalance on the system. The disturbing installation is to be understood as the complete customer's installation (i.e. including balanced and unbalanced parts). Problems related to unbalance fall into two basic categories:

- Unbalanced installations that draw negative-sequence currents which produce negative-sequence voltages on the supply system. Examples of such installations include arc furnaces and traction loads (typically connected to the public network at HV), and three phase installations where the individual loads are not balanced (typically connected at MV and LV). Negative-sequence voltage superimposed onto the terminal voltage of rotating machines can produce additional heat losses. Negative-sequence voltage can also cause non-characteristic harmonics (typically positive-sequence 3rd harmonic) to be produced by power converters.
- Unbalanced installations connected line-to-neutral can also draw zero-sequence currents which can be transferred or not into the supply system depending on the type of connection of the coupling transformer. The flow of zero-sequence currents in a grounded neutral system causes zero-sequence unbalance affecting line-to-neutral voltages. This is not normally controlled by setting emission limits, but rather by system design and maintenance. Ungrounded-neutral systems and phase-to-phase connected installations are not, however, affected by this kind of voltage unbalance.

This report gives guidance only for the coordination of the negative-sequence type of voltage unbalance between different voltage levels in order to meet the compatibility levels at the point of utilisation. No compatibility levels are defined for zero-sequence type of voltage unbalance as this is often considered as being less relevant to the coordination of unbalance levels compared to the first type of voltage unbalance. However, for situations where a non-zero impedance exists between neutral and earth with the system still being effectively grounded (i.e., where the ratio between zero-sequence, X_0 and positive sequence reactance X_1 is $0 < X_0/X_1 = 3$), this type of voltage unbalance can be of concern especially when the type of connection of the coupling transformer allows zero-sequence path to flow from MV to LV and vice-versa. This Technical Report has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107. The contents of the corrigendum of April 2010 have been included in this copy.

6.1.4 Aspetti di compatibilità

6.1.4.1 Disturbi della tensione

6.1.4.1.1 Variazione lente della tensione

Le variazioni lente della tensione sono dovute alle variazioni del carico e controllate per mezzo di variatori installati sui trasformatori di iniezione AAT/AT, variatori sui trasformatori AT/MT comandati da regolatori automatici e prese a vuoto sui trasformatori MT/BT.

6.1.4.1.2 Variazioni rapide della tensione (concetti generali)

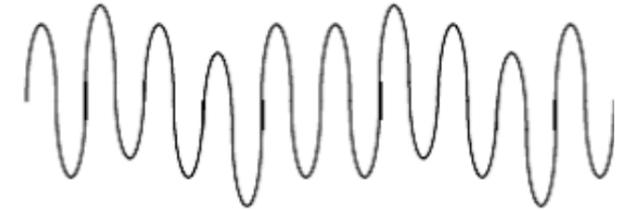


Figura 1 Ampiezza delle variazioni rapide della tensione

Una **variazione rapida della tensione** è un abbassamento rapido del valore efficace della tensione fornita, per effetto delle variazioni di carico nelle installazioni o di manovre nel sistema. Per essere “visibile” una variazione rapida di carico richiede che questo ultimo abbia una potenza significativa rispetto alla potenza di corto circuito della rete di alimentazione al nodo di connessione del carico e normalmente si presenta con un iniziale brusco abbassamento, seguito da una rampa crescente terminante ad un valore di tensione inferiore a quello esistente prima della variazione di carico. Il fronte di discesa può avere durata anche di 10 ms, mentre la rampa di ripresa può durare diversi periodi della tensione di alimentazione.

Occorre sottolineare come una **variazione rapida della tensione**, per essere tale, non deve superare il limite inferiore di tolleranza della tensione ($U_N - 10\%$), altrimenti verrebbe considerata un **buco di tensione**. Tipicamente le **variazioni rapide** hanno ampiezze non superiori al 5% della tensione nominale o dichiarata (il collegamento dei carichi in grado di determinarle è normalmente soggetto a regolamentazione) ma ampiezze superiori sino al 10% possono occasionalmente verificarsi (come, ad esempio, nel caso di aree rurali con lunghe linee di alimentazione). La norma prevede:

- reti BT ampiezze generalmente non superiori al 5% di U_N e variazioni, in talune circostanze, fino al 10% di U_N con una durata breve;
- reti MT ampiezze generalmente non superiori al 4% di U_C e variazioni, in talune circostanze, fino al 6% di U_C con una durata breve.

In Tabella 2 si riportano i livelli di compatibilità per reti industriali e non pubbliche, a tensioni nominali sino a 35 kV (Bassa e Media Tensione), secondo quanto definito nella norma CEI EN 61000-2-4: Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 2-4: Ambiente - Livelli di compatibilità per disturbi condotti in bassa frequenza negli impianti industriali¹⁵.

I livelli di compatibilità fanno riferimento alle tre classi di ambiente elettromagnetico definite in 6.1.3.

- Classe 1 si applicano solitamente alla rete in Bassa Tensione;
- Classe 2 sono solitamente identici a quelli della rete pubblica;
- Classe 3 coprono i possibili disturbi in ambiente industriale.

¹⁵ Si evidenzia che il titolo della norma, cui la presente nota si riferisce, può essere fuorviante, in quanto la stessa norma fornisce i limiti di compatibilità anche per gli ambienti domestici (CLASSE1) e per gli ambienti pubblici (CLASSE 2)

DISTURBO	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Variazione della frequenza di rete: Δf^{16}	± 1 Hz	± 1 Hz	± 1 Hz
Valori limite della tensione: $\Delta U_N / U_N$	$\pm 8\%$	$\pm 10\%^{17}$	da $+10\%$ a $-15\%^{18}$
Sbilanciamento di tensione: U_{neg} / U_{pos}	2%	2%	3%

Tabella 2 Livelli di compatibilità per reti industriali e non pubbliche

Nota:

La fluttuazione di tensione che provoca il flicker generalmente interessa solo le apparecchiature di illuminazione. Questo dovrebbe essere legato ad un'alimentazione di classe 2. Si applicano i livelli di compatibilità della IEC 61000-2-2.

In alcune circostanze alcune apparecchiature potrebbero essere sensibili a rapide variazioni di tensione.

L'evoluzione normativa (EN 61000-4-11; EN 61000-4-34) ha evidenziato la necessità di meglio definire le classi di immunità caratterizzando ciascuna di esse in merito alla immunità richiesta per l'evento di buco di tensione, considerando quindi non solo il valore di tensione residua, ma anche la durata del fenomeno.

Gli standard EN 61000-4-11 e EN 61000-4-34 definiscono i metodi ed i livelli di prova per gli apparati e dispositivi connessi alla rete elettrica, rispettivamente in classe 2 e 3, in grado di superare alcune tipologie di **buchi di tensione**.

¹⁶ ± 2 Hz nel caso di reti isolate

¹⁷ Valore non definito nella CEI EN 61000-2-2

¹⁸ Sono previste variazioni di tensione che forniscono tensioni di alimentazione nella gamma da $0,85 U_c$ a $0,9 U_c$ per una durata non maggiore di 60 s. Per durate maggiori si applica la gamma da $0,9 U_c$ a $1,1 U_c$.

TENSIONE RESIDUA u [%]	DURATA T [MS]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELLA A1	CELLA A2	CELLA A3	CELLA A4	CELLA A5
$80 > u \geq 70$	CELLA B1	CELLA B2	CELLA B3	CELLA B4	CELLA B5
$70 > u \geq 40$	CELLA C1	CELLA C2	CELLA C3	CELLA C4	CELLA C5
$40 > u \geq 5$	CELLA D1	CELLA D2	CELLA D3	CELLA D4	CELLA D5
$5 > u$	CELLA X1	CELLA X2	CELLA X3	CELLA X4	CELLA X5

CLASSE 2: immunità per buchi di tensione delle celle A1, A2, B1, B2

CLASSE 3: immunità per buchi di tensione delle celle A1, A2, A3, A4, B1, B2 e C1

Tabella 3: Classificazione dei buchi di tensione

Il periodo di osservazione ed il limite della ripetitività non possono essere fissati in quanto troppo dipendenti dai casi specifici.

6.1.4.1.3 Flicker

Il fenomeno del flicker è dovuto a fluttuazioni di tensione (**variazioni rapide** e ripetitive di tensione) che possono presentare diverse forme d'onda delle quali alcune sono stilizzate in Figura 2.

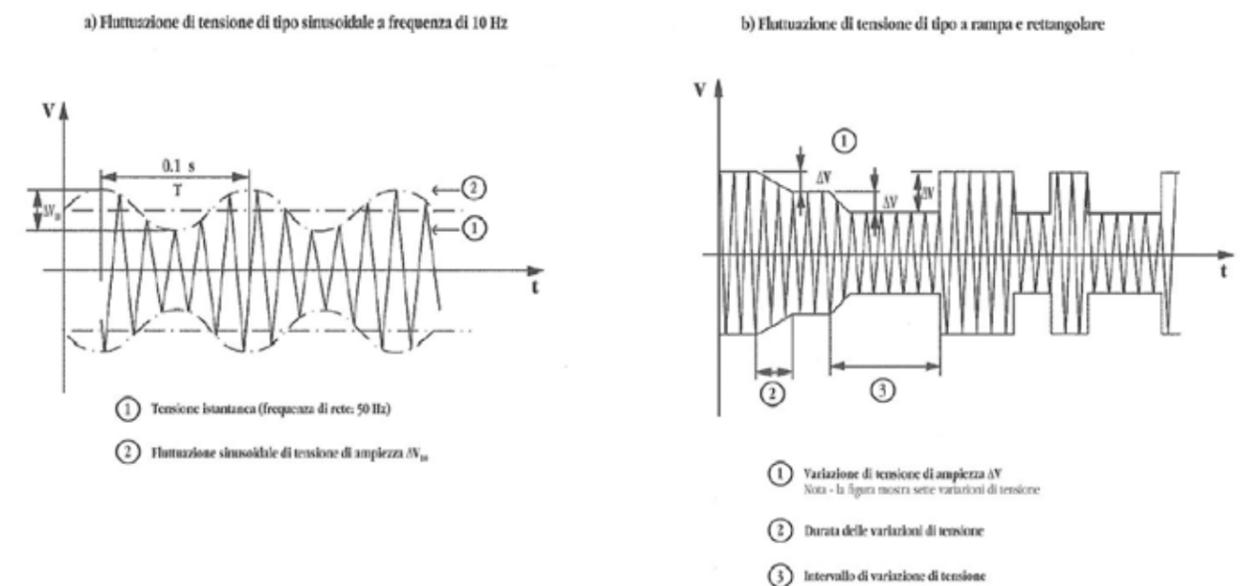


Figura 2 Esempio di fluttuazione di tensione

In sede internazionale si è posto il problema di misurare il **flicker** in modo oggettivo, attraverso uno strumento che, collegato a una rete soggetta a fluttuazioni di tensione, indichi il livello della sensazione visiva che il soggetto umano avvertirebbe, se una lampada di riferimento (230 V, 60 W) fosse alimentata dalla rete in questione.

Questo strumento, detto "flickermetro," è stato messo a punto dall'Unione Internazionale di Elettrotecnica (UIE) e le sue specifiche sono oggetto della Norma **CEI EN 61000-4-15**¹⁹ e sua variante.

La misura del **flicker**, effettuata dallo strumento, è espressa attraverso gli indici di disturbo P_{st} e P_{lt} .

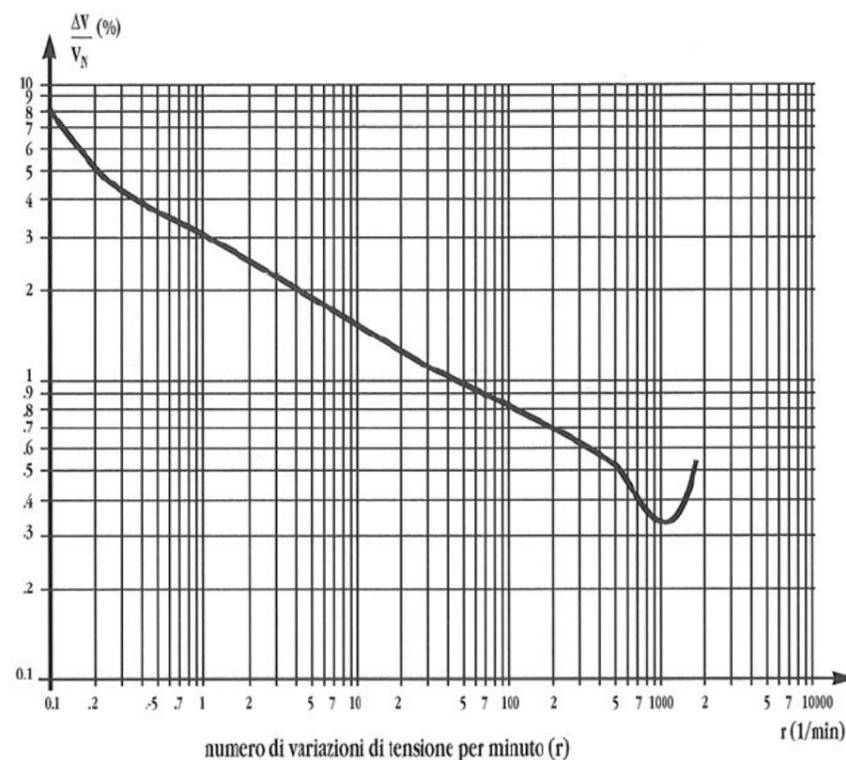


Figura 3 Curva per $P_{st} = 1$ per variazioni di tensione rettangolari equidistanti

Una relazione di base tra la variazione di tensione e la conseguente severità di flicker è data dalla curva $P_{st}=1$ riportata in Figura 3 e tratta dal documento **IEC/TR 61000-3-7**²⁰. Tale curva è valida per variazioni di tensione rettangolari equidistanti e ripetitive e indica la variazione percentuale di tensione che a una certa frequenza di ripetizione dà un $P_{st}=1$.

¹⁹ **CEI EN 61000-4-15**: Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura Sezione 15: Flickermetro - Specifiche funzionali e di progetto.

²⁰ **IEC/TR 61000-3-7**: "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems"

Il livello di sensazione istantanea di flicker è una funzione quadratica dell'ampiezza della variazione luminosa e quindi della fluttuazione di tensione che la genera.

Se la tensione durante una variazione attraversa la soglia del **buco di tensione** e/o della sovrarelevazione di tensione, l'evento è classificato come un **buco di tensione** e/o una sovrarelevazione di tensione piuttosto che una variazione rapida di tensione.

NOTA Si può fare riferimento alla EN 61000-2-2;

Severità di flicker

Il **flicker** è l'effetto prodotto sulla percezione visiva dalla variazione dell'intensità luminosa di lampade soggette a fluttuazioni della loro tensione di alimentazione, composte da una sequenza di variazioni rapide in intervalli di tempo tali da determinare la sensazione di **flicker** (tipicamente si tratta di fluttuazioni che presentano frequenze di modulazione del 50 Hz tra 0,5 e 35 Hz).

La **severità** del disturbo è valutata con i seguenti parametri:

- severità a breve termine (P_{st}) misurata a intervalli consecutivi di 10 minuti con strumentazione conforme alla norma **CEI EN 61000-4-15**;
- severità a lungo termine (P_{lt}) valutata sulla base di una serie di 12 valori consecutivi di P_{st} corrispondenti ad un intervallo di due ore, mediante la seguente espressione:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

La norma indica solo il parametro P_{lt} , ritenendo questa quantità più significativa per descrivere la tensione di alimentazione.

Le misure sono eseguite tra le fasi nelle reti MT e fase-terra nelle reti BT: la misura fondamentale è l'indicatore di severità a breve termine, di cui dovrebbero essere considerati solo i valori misurati nell'arco di tempo in cui l'ampiezza della tensione di alimentazione si mantiene nell'intervallo $\pm 10\%$ della tensione nominale o dichiarata e non è affetta da **buchi di tensione**.

La conformità alla norma prevede valori di $P_{lt} \leq 1$ per il 95% del tempo di osservazione.

6.1.5 Squilibrio della tensione

Le condizioni di squilibrio della tensione, generalmente originate in BT da carichi non equilibrati (monofasi), in MT dalla presenza di trasformatori MT/BT privi di almeno un avvolgimento a triangolo o in alternativa zig-zag, possono creare inconvenienti soprattutto nelle macchine rotanti sincrone e asincrone, perché la circolazione di correnti di sequenza inversa negli avvolgimenti determina un campo rotante di senso opposto a quello principale. Compagno quindi nel rotore correnti di frequenza circa doppia di quella di rete, che provocano perdite supplementari, che generano sovrarelevazioni di temperatura, riduzione delle coppie di avviamento, rumore e vibrazioni.

Nei ponti convertitori lo squilibrio della tensione di alimentazione provoca la comparsa di armoniche di corrente supplementari, rispetto a quelle caratteristiche (3^a, 5^a, 7^a ecc.).

6.1.6 Tensioni armoniche

6.1.6.1 Origine

La distorsione armonica della tensione di alimentazione (tensioni armoniche ed inter-armoniche) è la conseguenza dell'utilizzo di carichi che per loro natura possono essere assimilati a:

- generatori di tensioni armoniche come nel caso motori sincroni e asincroni, oppure come
- generatori di correnti armoniche, in questo caso la tipologia di carichi è molto più ampia: forni e lampade ad arco, ponti raddrizzatori e di conversione (ed elettronica di potenza in genere), elementi non lineari quali reattori a nucleo magnetico, trasformatori, ecc.

Nota: Le correnti armoniche prodotte, in funzione dell'impedenza della rete a monte alle diverse impedenze armoniche, generano conseguentemente tensioni armoniche.

Le armoniche possono essere generate come componenti di uno spettro continuo (sono presenti tutte le frequenze) o discreto (sono presenti soltanto alcune armoniche). Nella prassi comune, le frequenze corrispondenti alle linee di spettri continui o discreti non coincidenti con multipli interi della frequenza di rete (50 Hz) sono denominate frequenze spurie o interarmoniche.

In campo industriale i forni ad arco sono sorgenti di distorsione a spettro continuo; i ponti raddrizzatori e convertitori di tipo controllato generano spettri discontinui con valore accentuato per le armoniche caratteristiche.

Nell'utenza domestica e commerciale, la pressoché totalità dei carichi²¹ utilizza a vario titolo elettronica di controllo ed elettronica di potenza, per cui, anche se si tratta in talune tipologie di carichi il cui contributo individuale è modesto, nel loro insieme creano notevoli livelli di disturbo che si propagano sulla rete pubblica.

6.1.6.2 Tensioni armoniche a bassa frequenza (effetti e limiti)

Gli effetti dovuti alla presenza di armoniche, anche se non istantaneamente osservabili, possono avere serie conseguenze nel medio e lungo termine sul funzionamento delle apparecchiature e dei componenti, sia di rete, che dell'impianto del Cliente, quali trasformatori, motori, cavi, condensatori, etc.

Le tensioni, correnti e frequenze derivanti dalla composizione delle armoniche con la fondamentale possono eccedere i valori di dimensionamento e, in generale, determinare sovrariscaldamenti (aumento delle perdite con riduzione della possibilità di funzionamento a pieno carico), aumento dei valori di picco delle tensioni di alimentazione, vibrazioni e fatica meccanica, invecchiamento precoce delle apparecchiature.

Nei **trasformatori** le armoniche, producono essenzialmente perdite supplementari nel ferro e nel rame.

Nei **motori sincroni** e **asincroni** le armoniche determinano perdite supplementari nel ferro e nel rame e coppie pulsanti, che possono sollecitare in modo indebito gli organi di accoppiamento meccanico, in particolare quando la loro frequenza si approssima alla frequenza caratteristica di oscillazione torsionale degli alberi.

I **cavi** sono soggetti a un aumento delle perdite dielettriche e nel rame. Il conduttore di neutro, che in determinate condizioni normativamente può essere di sezione pari alla metà del conduttore di fase, è anche soggetto all'effetto dalla circolazione di correnti armoniche di ordine 3 e multiple nonché della componente continua²².

Anche i **condensatori** subiscono un aumento delle perdite dielettriche, ma il problema maggiore è posto dal fatto che la loro reattanza diminuisce in proporzione diretta con l'ordine delle armoniche, per cui il tasso di correnti armoniche che li attraversano è molto superiore a quello di distorsione della tensione ai loro estremi. Ne segue che il valore efficace di una corrente determinata da una tensione distorta è più elevato di quello prodotto da una tensione sinusoidale avente lo stesso valore efficace della tensione distorta. Da non trascurare è inoltre la possibilità di innesco di condizioni di risonanza tra i condensatori e gli elementi induttivi di rete, con aumenti delle correnti e delle tensioni armoniche corrispondenti alla frequenza di risonanza²³.

I dispositivi basati sull'**elettronica di potenza**, oltre ad essere tra i principali responsabili nella generazione di armoniche, sono a loro volta influenzati dalla presenza di tensioni armoniche in merito a problemi di sincronizzazione e commutazione (ponti convertitori a diodi o tiristori).

Il limite della distorsione armonica totale THD della tensione di alimentazione, secondo la EN50160:2011 (comprese le armoniche fino al 40° ordine) deve essere $\leq 8\%$, nella tabella a seguire vengono riportati i limite per singola tensione armonica fino al 25° ordine. I valori corrispondenti alle armoniche di ordine superiore a 25 non sono indicati in questa tabella poiché essi sono generalmente piccoli ma imprevedibili a causa degli effetti di risonanza.

²¹ Da escludersi tra questi forni elettrici e lampade alogene.

²² Tale effetto è particolarmente evidente negli impianti delle sale di calcolo, tant'è che il conduttore di neutro è conseguentemente sovradimensionato.

²³ Si pone inoltre il problema delle interferenze sui circuiti telefonici

ARMONICHE DISPARI				ARMONICHE PARI	
NON MULTIPLE DI 3		MULTIPLE DI 3			
Ordine h	Ampiezza relativa U_h	Ordine h	Ampiezza relativa U_h	Ordine h	Ampiezza relativa U_h
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	0,5%	6 ... 24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Tabella 4: Valori delle singole tensioni armoniche ai terminali di alimentazione, fino al 25° ordine, espressi in percentuale della tensione fondamentale u_1

Analogamente ai sensi della [EN 61000-2-4](#) all'interno delle installazioni industriali, in funzione della qualità dell'alimentazione elettrica e della tipologia di carichi può essere conveniente realizzare un'alimentazione filtrata di livello qualitativo superiore.

Conseguentemente, i livelli di compatibilità riferiti alle singole armoniche (all'interno degli ambienti industriali) vengono suddivisi nelle tre classi di compatibilità, definite nel paragrafo 6.1.3, e riportate in Tabella 5.

ARMONICHE DISPARI NON MULTIPLE DI 3 (h)	CLASSE 1 U_h (%)	CLASSE 2 U_h (%)	CLASSE 3 U_h (%)
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4,5
17 <...< 49	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$4,5 \times (17/h) - 0,5$
MARMONICHE DISPARI NON MULTIPLE DI 3 (h)	CLASSE 1 U_h (%)	CLASSE 2 U_h (%)	CLASSE 3 U_h (%)
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,4	2
21	0,2	0,3	1,75
21 <...< 45	0,2	0,2	1
ARMONICHE PARI (h)	CLASSE 1 U_h (%)	CLASSE 2 U_h (%)	CLASSE 3 U_h (%)
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
10 <...< 50	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	1
	CLASSE 1 THD (%)	CLASSE 2 THD (%)	CLASSE 3 THD (%)
Distorsione armonica totale	5	8	10

Tabella 5 Livelli di compatibilità per le singole armoniche di tensione e per la distorsione armonica

Nota: In certi casi in cui una parte di una rete industriale è dedicata a carichi importanti non lineari, i livelli di compatibilità di classe 3 per quella parte di rete possono essere 1,2 volte i valori sopra indicati. In tali casi si dovrebbero prendere delle precauzioni per quanto riguarda l'immunità delle apparecchiature ad essa collegata. Tuttavia, per i PCC (rete pubblica) hanno precedenza i livelli di compatibilità della [CEI EN 61000-2-2](#) e della [CEI EN 61000-2-12](#).

6.1.6.3 Tensioni armoniche ad alta frequenza

Gli effetti dovuti alla presenza di armoniche ad alta frequenza, invece, possono avere serie conseguenze sui sistemi di comunicazione che utilizzano i conduttori di potenza per la trasmissione dei segnali (Power Line Carriers, generalmente indicati come PLC), inficiandone l'efficienza.

I livelli di emissione armonica ad alta frequenza nella banda CENELEC 3-148.5 kHz, sono oggi di interesse strategico in quanto tale banda riservata è utilizzata dai DSO per la tele gestione (Smart Meter).

EN 50065-1: Prescrizioni generali, bande di frequenza e disturbi elettromagnetici

La normativa EN 50065-1[22] è la più importante per questo ambito, infatti impone le caratteristiche principali della comunicazione tramite Power Line Communications (PLC) nella banda del CENELEC. La banda di interesse per le PLC del DSO è la A (da 3 kHz a 95 kHz), utilizzata per la telegestione degli Smart Meter nelle reti di bassa tensione (Figura 4), inoltre si può osservare la distribuzione delle bande all'interno del range di frequenze da 3 kHz fino a 148, 5 kHz.

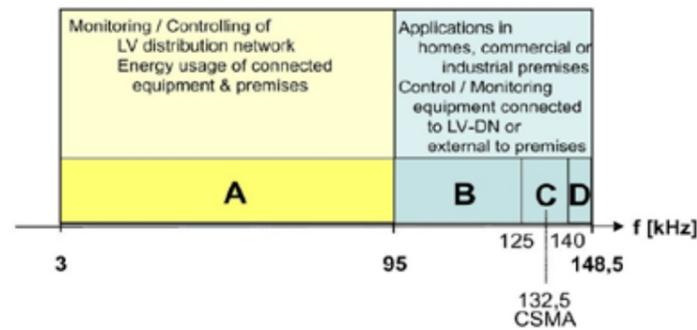


Figura 4 Designazione delle bande di frequenza secondo la normativa EN 50065-1[22]

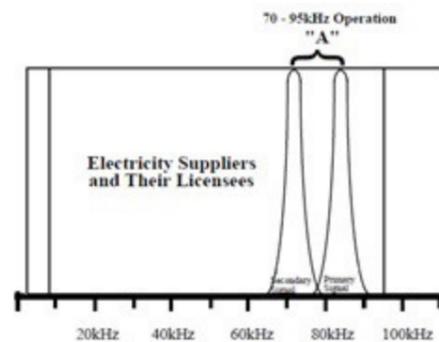


Figura 5 Frequenze di comunicazione degli Smart Meter di E-Distribuzione

- (a) Banda del CENELEC
- (b) specifica di banda imposta dalla normativa
- (c) frequenze utilizzate dalla maggior parte degli Smart Meter di E-Distribuzione

6.1.6.4 Tensioni interarmomiche

La distorsione inter-armonica deriva dalla sovrapposizione di segnali periodici sinusoidali ad una frequenza non multipla (o sottomultipla) della fondamentale, con il segnale a frequenza fondamentale. Le principali origini di inter-armoniche possono essere ricondotte all'impiego di apparati elettronici ad esempio i convertitori statici, lampade ad arco, motori ad induzione ecc. Gli effetti maggiormente significativi della presenza di inter-armoniche sono lo sfarfallio dei display a tubo catodico e delle lampade incandescenti, oltre disturbi sui sistemi TLC basati sulle PLC.

Interarmoniche: La norma fornisce livelli di compatibilità solo nel caso di una tensione interarmonica che si presenti ad una frequenza vicina a quella fondamentale, risultante in una modulazione di ampiezza della tensione di alimentazione, condizione che in alcuni carichi, specialmente i dispositivi di illuminazione, origina un flicker. In tal caso il livello di compatibilità, espresso come rapporto tra l'ampiezza della tensione interarmonica e quella della fondamentale, è rappresentato dalla curva di Figura 6 in funzione della frequenza di battimento (differenza tra le frequenze delle due tensioni, interarmonica e fondamentale, presenti simultaneamente). Il livello di compatibilità si basa su un livello di flicker di $P_{st} = 1$ per lampade che funzionano a 120 V e 230 V, ed è applicabile solo a circuiti con dispositivi di illuminazione.

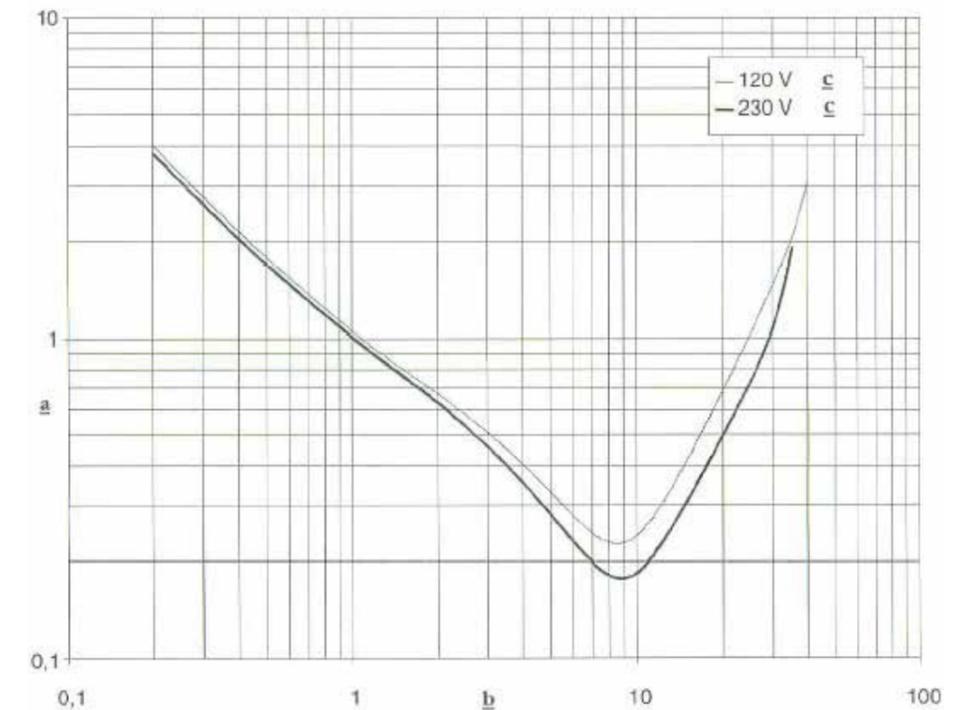


Figura 6 Livello di compatibilità per tensioni interarmomiche secondo la CEI EN 61000-2-4

- a: Ampiezza dell'interarmonica (% della fondamentale)
- b: Frequenza di battimento con la frequenza fondamentale (Hz)
- c: Lampada

6.1.7 Sovratensioni

Questa tipologia di fenomeni è imprevedibile e largamente casuale. La frequenza annuale varia principalmente a seconda del tipo di sistema di alimentazione e del punto di osservazione. Inoltre, la distribuzione durante l'anno può essere molto irregolare.

6.1.7.1 Sovratensioni transitorie di breve durata nelle reti MT

Le sovratensioni transitorie di breve durata ($<1 \mu\text{s}$), con frequenze di oscillazione dell'ordine di decine di MHz, possono verificarsi, ad esempio, a seguito di manovre di interruttori in vuoto che possono generare in determinate condizioni²⁴ strappamenti d'arco. L'ampiezza è generalmente pari a poche volte il valore della nominale, mentre presenta una forma d'onda oscillatoria con frequenza superiore a 1 MHz.

6.1.7.2 Sovratensioni transitorie di media durata nelle reti MT

Le sovratensioni transitorie di media durata (1- 100 μs), di tipo oscillatorio smorzato, con frequenze da 10 a 1000 kHz, oppure unidirezionale, con e senza oscillazioni, sono dovute principalmente a scariche atmosferiche o al riadescamento dell'arco negli interruttori. Raggiungono ampiezze che talvolta possono superare la tenuta degli isolamenti delle linee aeree; nelle cabine AT/MT e sui trasformatori MT/BT la sovratensione viene limitata tramite scaricatori e/o spinterometri. La forma d'onda è generalmente di tipo unidirezionale e in alcuni casi unidirezionale/oscillatoria (tempi del fronte compresi tra 1 e 50 μs , tempi di coda dell'ordine di centinaia di μs). Per le linee aeree di distribuzione la maggior parte di queste sollecitazioni è di tipo indotto (fulminazioni in vicinanza della linea), mentre più rare sono quelle di tipo diretto (scariche sui pali o sui conduttori).

6.1.7.3 Sovratensioni transitorie di lunga durata nelle reti MT

Le sovratensioni transitorie di lunga durata ($>100 \mu\text{s}$), in genere con andamento oscillatorio smorzato e frequenza inferiore ai 10 kHz, sono conseguenti a manovre o guasti o trasferite dall'alta tensione, con ampiezze massime dell'ordine di 3 ÷ 5 p.u.; il loro valore effettivo è comunque limitato dai livelli protettivi adottati sulla rete (scaricatori e/o spinterometri), per assicurare il coordinamento dell'isolamento.

6.1.7.4 Sovratensioni temporanee nelle reti MT

Le sovratensioni temporanee vengono classificate secondo la seguente Tabella 6 (EN50160:2011).

SOPRAELEVAZIONE DI TENSIONE u [%]	DURATA t [ms]		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$u \geq 120$	CELLA S1	CELLA S2	CELLA S3
$120 > u \geq 110$	CELLAT1	CELLAT2	CELLAT3

Tabella 6 Classificazione delle sovraelevazioni di tensione secondo la tensione e durata massime

Le sovratensioni temporanee nelle reti MT dovute a ferrorisonanza, sono fenomeni oscillatori con valori di picco pari a 2,5-3,5 p.u. e frequenza di involuppo di qualche Hz, provocati tipicamente da trasformatori di tensione induttivi, con durata anche molto lunga.

Le sovratensioni dovute a guasti monofase a terra nelle reti MT con neutro isolato o a terra tramite impedenza, possono produrre delle sovratensioni tra fase e terra sulle fasi sane. La loro ampiezza, in genere, è inferiore a 3 p.u. della tensione nominale fase-terra; tali sovratensioni si protraggono per tutta la durata del guasto.

6.1.7.5 Sovratensioni transitorie di breve durata nelle reti BT

Come 6.1.7.1 ma con origine dovuta a:

- manovre su brevi tratti di cavo o su sistemi di sbarre, interruzioni di correnti induttive ecc. (generalmente con ampiezze fino a 1-2 kV);
- manovre (chiusura ed apertura) di relé e contattori che danno una successioni di spegnimenti e riaccensioni.

6.1.7.6 Sovratensioni transitorie di media durata nelle reti BT

Come 6.1.7.2 ma con origine dovuta a:

- manovre di organi di interruzione, lato BT (generalmente con ampiezze fino a diverse volte la tensione nominale);
- trasferimento di sovratensioni atmosferiche dalla MT attraverso i trasformatori MT/BT, per accoppiamento capacitivo (generalmente con ampiezze fino a 4-6 kV);
- fulminazioni diretta ed indiretta delle linee BT (ampiezze fino a qualche decina di kV).

6.1.7.7. Sovratensioni transitorie di lunga durata nelle reti BT

Come 6.1.7.3 ma con origine dovuta a:

- interventi di fusibili (generalmente con ampiezze fino a 1-2 kV);

²⁴ Il fenomeno viene maggiormente esaltato durante le manovre di apertura degli interruttori in vuoto, non in corrispondenza del passaggio per lo zero della corrente, in particolare nell'esercizio della rete a neutro isolato.

- manovre di banchi di condensatori (generalmente con ampiezze fino a 2-3 volte il valore di picco della tensione nominale);
- trasferimento di transitori dalla rete MT, attraverso i trasformatori MT/BT, per accoppiamento induttivo (generalmente con ampiezze fino a 1 kV).

6.1.7.8 Sovratensioni temporanee nelle reti BT

Come 6.1.7.4 (anche per la tipologia di classificazione) ma con origine dovuta a:

guasti o dall'inserimento di banchi di condensatori, generalmente con ampiezze al di sotto di 1,5 kV in quanto limitate dalla messa a terra efficace del neutro.

6.1.8 Buchi di tensione

Il **buco di tensione** è classificato secondo la seguente Tabella 7 definita nella EN50160:2011

TENSIONE RESIDUA u [%]	DURATA t [ms]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELLA A1	CELLA A2	CELLA A3	CELLA A4	CELLA A5
$80 > u \geq 70$	CELLA B1	CELLA B2	CELLA B3	CELLA B4	CELLA B5
$70 > u \geq 40$	CELLA C1	CELLA C2	CELLA C3	CELLA C4	CELLA C5
$40 > u \geq 5$	CELLA D1	CELLA D2	CELLA D3	CELLA D4	CELLA D5
$5 > u$	CELLA X1	CELLA X2	CELLA X3	CELLA X4	CELLA X5

Tabella 7 Classificazione dei buchi di tensione secondo la tensione residua e durata

Questa tipologia di fenomeni è imprevedibile e largamente casuale. La frequenza annuale varia principalmente a seconda del tipo di sistema di alimentazione e del punto di osservazione. Inoltre, la distribuzione durante l'anno può essere molto irregolare.

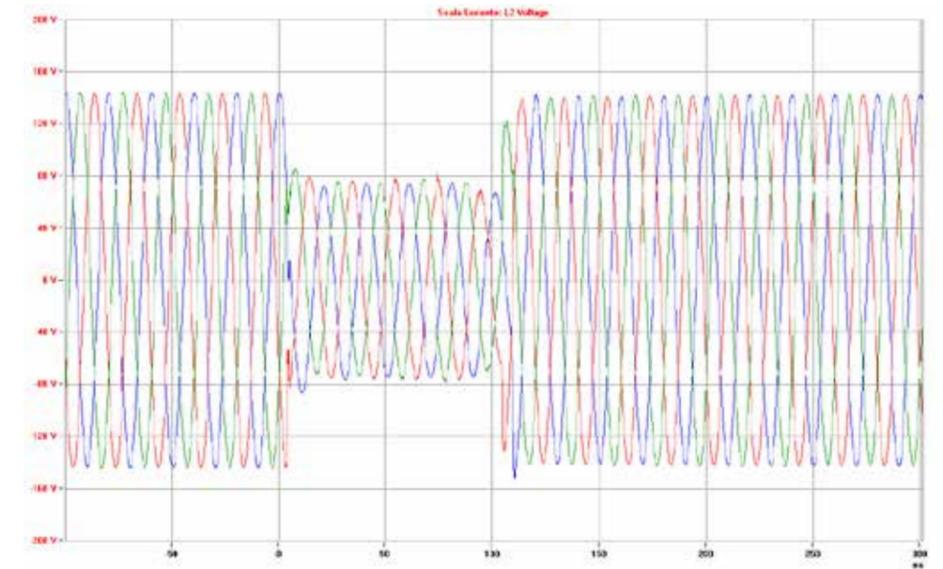


Figura 7 esempio di registrazione di un buco di tensione

In un sistema polifase, si parla di **interruzione** dell'alimentazione quando la tensione di alimentazione si porta al di sotto del 5% della tensione di riferimento su tutte le fasi.

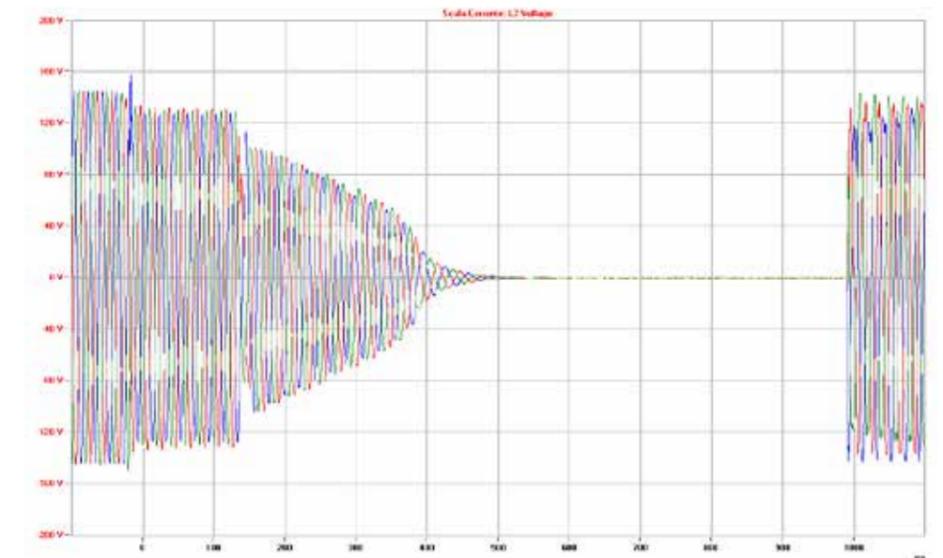


Figura 8 Esempio di registrazione di un'interruzione

6.1.8.1 Origine dei buchi di tensione

I **buchi di tensione** hanno origine sulle reti di trasmissione, di distribuzione, ma anche nelle installazioni dei clienti. La caratterizzazione dei **buchi di tensione** in Italia è fornita dal sistema QUEEN promosso da **ARERA** e gestito da RSE.

Sono prodotti principalmente da:

- guasti (sia sulla linea di alimentazione del Cliente che sulle linee limitrofe metallicamente connesse alla linea in esame), seguiti da manovre di richiusura automatica rapida o lenta;
- correnti d'inserzione di trasformatori e condensatori (**buchi di tensione** di notevole ampiezza e durate non superiori a 0,5 secondo);
- carichi che variano rapidamente e forti correnti di spunto dei motori.
- brevi **interruzioni** di alimentazione
- componenti in corrente continua

6.1.8.2 Variazione della frequenza di alimentazione

Il distacco di grossi gruppi generatori o di aggregati di generatori di taglia medio-piccola, ma di potenza complessiva aggregata rilevante (situazione prevalente al momento, a causa dell'enorme incremento della DER) e la commutazione di carichi molto importanti, danno luogo a variazioni transitorie della frequenza, compensate in tempi relativamente rapidi (qualche secondo) dalla regolazione sui motori primi dei gruppi generatori.

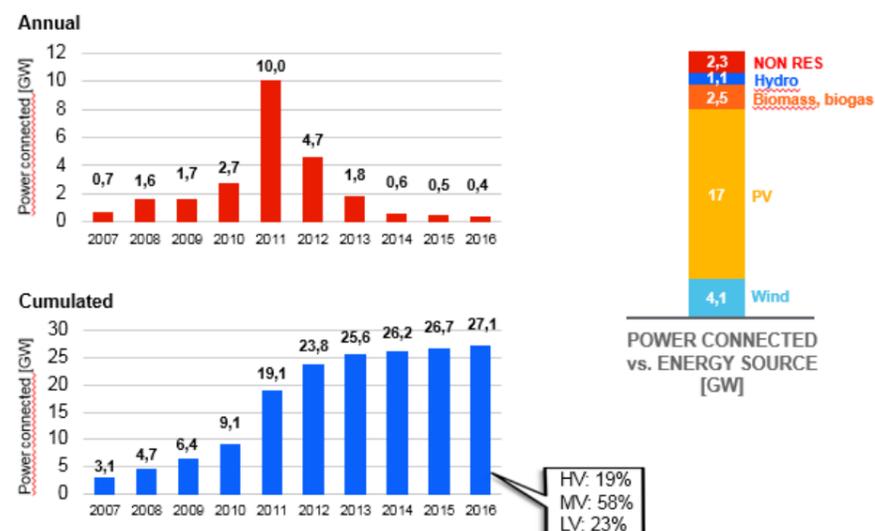


Figura 9 Andamento della DER in Italia 2007-2016

Successivamente le potenze di scambio tra reti interconnesse vengono riequilibrate dalle centrali preposte alla regolazione secondaria frequenza-potenza. La regolazione frequenza-potenza provvede ad annullare il valor medio degli scatti di potenza trasferita tra reti interconnesse a seguito delle variazioni di frequenza.

La frequenza di rete influenza il comportamento dei motori, oltre che le perdite nei lamierini magnetici e l'efficacia dei filtri accordati impiegati per la soppressione delle armoniche.

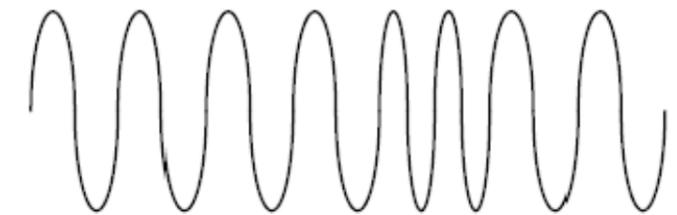


Figura 10 Rappresentazione di una variazione della frequenza di rete

In caso di perturbazioni che siano causa di transitori di frequenza e/o di tensione, gli impianti devono continuare garantire il proprio sostegno al Sistema Elettrico Nazionale nell'ambito dell'intervallo di funzionamento richiesto dal codice di rete RTN (Allegato A70).

Per il controllo dei transitori in frequenza, si richiede agli impianti di produzione statici connessi alle reti MT e BT:

- la capacità di ridurre la potenza immessa in rete in risposta ad una variazione della frequenza del sistema al di sopra di una soglia predefinita (regolazione della potenza in funzione della sovra frequenza);
- l'inserimento graduale della potenza immessa in rete in modo da minimizzare gli effetti sul sistema in caso di ripresa del servizio.
- l'avviamento con l'aumento graduale della potenza immessa in rete.

Durante un transitorio di frequenza, detti impianti di produzione devono essere in grado di:

- A. Non variare la potenza immessa in rete nei limiti previsti, per frequenze comprese tra 47,5 Hz e 50,3 Hz, salvo che per motivi legati alla disponibilità della fonte primaria;
- B. Ridurre la potenza immessa in rete in funzione dell'entità dello scarto di frequenza positivo rispetto a 50Hz per frequenze comprese tra 50,3 Hz e 51,5 Hz, secondo uno statismo compreso tra il 2% e il 5%; di norma viene impostato un valore pari al 2,4%;
- C. Non riconnettersi alla rete e non aumentare il livello di produzione minimo raggiunto in caso di ridiscesa della frequenza dopo un aumento della stessa oltre il valore di 50,3 Hz (a meno che la frequenza non si attesti per almeno 5 minuti primi ad un valore compreso tra 49,95 Hz e 50,05 Hz per il continente, e 49.9 e 50,1 per Sicilia e Sardegna), salvo diversa indicazione da parte del Gestore.

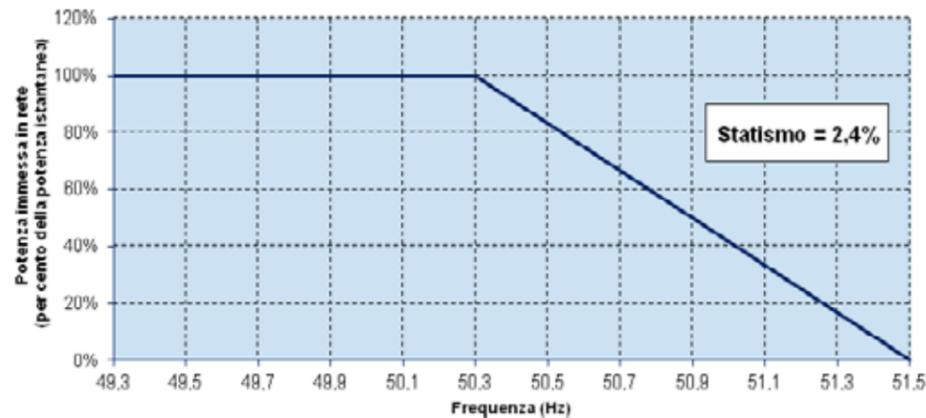


Figura 11 Regolazione della potenza attiva immessa in rete in funzione della frequenza

L'avviamento di detti impianti deve essere condizionato ad una frequenza di rete stabilizzata e quindi non inferiore a 49,9 (49,95) Hz e non superiore a 50,1 (50,05) Hz per le isole (per il Continente).

Nel caso in cui la riconnessione avvenga automaticamente, il sistema di controllo dell'impianto dovrà consentire la taratura di rientro in un intervallo compreso tra 49 Hz e 51 Hz a step di 0,05 Hz; dovrà inoltre essere selezionabile il tempo minimo di permanenza in tale intervallo selezionabile tra 0 e 900 secondi a step di 5 secondi.

In tali condizioni la riconnessione deve avvenire aumentando gradualmente la potenza immessa rispettando un gradiente positivo massimo non superiore al 20% al minuto della potenza erogabile.

Il Gestore è disponibile ad accettare soluzioni equivalenti, proposte dalle Imprese di distribuzione, purché tali da assicurare le stesse prestazioni di cui ai punti precedenti a livello di aggregato.

Comportamento degli impianti di produzione nei transitori di tensione

A salvaguardia del sistema elettrico nazionale, per evitare perdite incontrollate di generazione distribuita in concomitanza con guasti sulla rete AAT e AT, che causano abbassamenti di tensione su aree, vengono prescritti due requisiti:

- limiti di funzionamento coerenti con quanto indicato nella [Norma CEI 0-16](#);
- capacità dell'impianto di produzione di rimanere connesso alla rete, secondo una curva "tensione-durata" predefinita (Low Voltage Fault Ride Through capability, LVFRT).

6.2 Norme tecniche di connessione alla rete di distribuzione italiana

6.2.1 CEI 0-16; CEI 0-21

La connessione degli impianti alla rete di distribuzione deve soddisfare delle precise regole poiché, viceversa, si influenzerebbe negativamente la qualità del servizio della rete circostante e dell'impianto stesso allacciato.

Per questo, a partire dal 2006, ARERA (già AEEG), ha dato mandato al CEI di definire delle regole di connessione (con dettagliata descrizione dell'interfacciamento) degli impianti utente alle reti di distribuzione pubblica. Dapprima sono stati interessati gli utenti connessi in alta e media tensione, tramite l'azione del GdL CEI 136, poi, con la creazione di un CT ad hoc, il CT 316 (che svolge attività ricomprese, a livello europeo ed internazionale, in quelle, rispettivamente, del TC8X e del TC8), sono stati interessati anche gli utenti connessi in BT.

Varie edizioni di tali norme si sono susseguite anche per il radicale cambiamento determinato dal passaggio dal sistema elettrico tradizionale (bulk generation, rete di trasmissione, rete di distribuzione, utenti passivi-carichi) ad un sistema diverso, spesso definito come smart grid (termine abusato e non chiaro, ma comunque indicativo di un sistema completamente diverso da quello tradizionale precedente), basato su generazione distribuita connessa principalmente in MT ed in BT (DER), specie da fonti rinnovabili (RER), inserita in impianti di pura produzione, ma, soprattutto, all'interno di impianti con carichi propri (i c.d. prosumers), rete di distribuzione MT e BT che tende ad essere il più possibile autonoma dal punto di vista energetico, rete di trasmissione che serve a garantire l'isofrequenzialità ed il transito delle eccedenze di generazione sulle reti con eccesso di produzione verso quelle con carenza di produzione, con connessi impianti di generazione di tipo rinnovabile di taglia medio-grande (tipicamente a fonte eolica o solare) e con bulk generation con funzione di riserva calda, di spinning reserve per l'inerzia del sistema e la stabilizzazione della frequenza, di bilanciamento dei flussi di reattivo e, quindi, controllo della tensione e capacità di fornire un livello minimo di corrente di cortocircuito tale da garantire il corretto funzionamento delle protezioni del sistema di trasmissione.

Le sopra citate norme del CEI, valide per le nuove connessioni o, in caso di passaggio da utente passivo ad attivo o in caso di aumento di potenza contrattuale oltre una determinata soglia di utenti già connessi, per la sola parte di interesse:

- **CEI 0-16** - Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT [tensione nominale in corrente alternata superiore a 1 kV fino a 150 kV] delle imprese distributrici di energia elettrica (attualmente, essendo le reti sopra 35 kV nella quasi totalità di proprietà del TSO nazionale, gran parte degli allacciamenti alle reti AT sono, adesso, regolati dal Grid Code di TERNA);
- **CEI 0-21** - Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT [tensione nominale in corrente alternata fino a 1 kV compreso] delle imprese distributrici di energia elettrica.

Le due norme trattano della qualità della tensione di alimentazione, sia per quanto riguarda gli utenti passivi tradizionali, sia per quanto riguarda gli utenti con generatori.

Nel primo caso, con riferimento ai soli utenti connessi in MT, la CEI 0-16 presta attenzione al contenimento delle conseguenze dei guasti interni all'impianto utente prescrivendo la protezione contro le sovracorrenti e contro i cortocircuiti con coordinamento selettivo rispetto alle protezioni di linea di E-Distribuzione S.p.A.

Questo si traduce in:

- una maggiore efficacia del ciclo di richiusura automatica effettuato dal distributore, quindi il contenimento del numero di interruzioni brevi e lunghe sulla linea dove è connesso l'utente sede del guasto e del numero di **buchi di tensione** sulle altre linee MT eventualmente afferenti la medesima sbarra MT di Cabina Primaria cui fa capo la linea cui è connesso l'utente;
- la possibilità di avere più livelli di selettività interni all'impianto utente, tramite ritardo intenzionale della protezione di linea del distributore. Tuttavia, proprio perché tale ritardo rischia di traslare i **buchi di tensione** dalla colonna di durata $10\text{ ms} \leq t \leq 200\text{ ms}$ a quella di durata $200\text{ ms} < t \leq 500\text{ ms}$, ARERA ha fortemente limitato il diritto di accesso degli Utenti a tali tipi di coordinamento selettivo²⁵.

Nel secondo caso, invece, è richiesta, su richiesta sulla base della richiesta dei TSO, adeguata immunità ai **buchi di tensione** dei soli generatori (per la maggior parte delle tipologie degli stessi) caratterizzata dalla Low Voltage (Fault) Ride Through capability.

6.2.2 Guida alle connessioni di E-Distribuzione S.p.A.

Le norme CEI costituiscono il riferimento per le regole di connessione degli impianti alle reti elettriche; al fine di considerare in maniera esaustiva tutte le possibili peculiarità e le necessità tecniche atte a garantire un corretto esercizio delle reti di distribuzione, ciascun distributore concessionario redige e adotta le proprie Guide per le Connessioni che, secondo la regolazione vigente, devono essere sottoposte all'approvazione dell'ARERA.

In virtù di tali previsioni, E-Distribuzione S.p.A. ha adottato a "Guida per le connessioni alla rete elettrica di E-Distribuzione S.p.A." (e relativi allegati) che contiene le modalità e condizioni contrattuali, nonché gli standard tecnici di riferimento e le regole tecniche adottate da E-Distribuzione S.p.A., per l'erogazione del servizio di connessione, in conformità con le previsioni delle Deliberazioni della ARERA e delle norme CEI di riferimento.

Tale Guida per le connessioni è reperibile sul sito WEB di E-Distribuzione S.p.A. https://www.e-distribuzione.it/it/connessione-alla-rete/Regole_tecniche.html

²⁵ In generale, un qualsiasi coordinamento cronoamperometrico (o cronometrico) realizzato lungo un feeder MT del distributore, sia esso richiesto da parte utente o per esigenze interne del distributore, va ad allungare la durata dei buchi di tensione e, quindi, a ridurre l'immunità a tali disturbi degli impianti di utente che possono essere interessati dai buchi che si vengono conseguentemente a generare.

6.2.3 Cenni ai Grid Codes europei e italiani

Limitatamente alla connessione degli impianti di generazione, a livello europeo, l'European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) ha pubblicato, e tiene continuamente aggiornato, un codice di rete "**Network Code on Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators (RfG)**"; che stabilisce i requisiti per la connessione alla rete degli impianti di generazione di energia e che aiuta a garantire eque condizioni di concorrenza nel mercato interno dell'elettricità, nonché la sicurezza del sistema e l'integrazione delle fonti di energia rinnovabili.

A livello europeo l'European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) (<http://www.entsoe.eu>) ha il mandato legale per operare a beneficio dei clienti di energia elettrica, configurando la politica energetica europea a beneficio della società nel suo complesso in vari settori, tra i quali si ricorda quello relativo all'adeguatezza della rete, promuovendo quindi un adeguato sviluppo della rete europea interconnessa e gli investimenti per un sistema di alimentazione affidabile, efficiente e sostenibile.

Tra le competenze normative si annovera il codice di rete "**Network Code on Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators (RfG)**"; che stabilisce i requisiti per la connessione alla rete degli impianti di generazione di energia e che aiuta a garantire eque condizioni di concorrenza nel mercato interno dell'elettricità, nonché la sicurezza del sistema e l'integrazione delle fonti di energia rinnovabili.

Si annovera anche il "**Network Code on Demand Connection (DCC)**"; che definisce i requisiti funzionali per la connessione dei carichi industriali alle reti di distribuzione, nell'ottica di facilitare la crescita delle fonti energetiche rinnovabili (FER), garantendo la sicurezza del sistema e l'attuazione del mercato interno dell'energia elettrica, anche per mezzo di modelli smart grid.

Di seguito si riporta uno screenshot del sito dell'ENTSO-E ove si riportano i codici di rete in vigore e in corso di approvazione. Ognuno di questi codici si inserisce nella logica europea finalizzata a garantire il buon funzionamento della rete dal punto di vista tecnico, ma anche il libero mercato dell'energia e la promozione degli sviluppi futuri.

Awaiting validation by EU Member States	
Electricity Balancing	Final EC Draft / Drafting
Validated by Member States, awaiting validation by European Parliament and Council and entry into force	
Emergency and Restoration	Final EC Draft / Drafting
System Operations	Final EC Draft / Drafting
Entered into force	
Capacity Allocation and Congestion Management (CACM)	New Code / Drafting
Requirements for Generators	New Code / Drafting
Demand Connection	New Code / Drafting
HVDC	New Code / Drafting
Forward Capacity Allocation	New Code / Drafting

Figura 12 esempi di Grid Codes approvati da EC, definiti ed in corso di approvazione e in corso di definizione

A livello nazionale vige il Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete (**Codice di rete**) che trova applicazione nei rapporti tra Terna e gli utenti della rete a partire dal 1° novembre 2005. Il Codice di rete è stato predisposto in conformità a quanto previsto nel D.P.C.M. 11 maggio 2004 in materia di unificazione tra proprietà e gestione della rete e sulla base delle direttive dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente di cui alla delibera n. 250/04. Il Codice di rete è verificato dalla ARERA ed è sottoposto ad un continuo processo di aggiornamento secondo le procedure dallo stesso previste.

Il Codice di Rete disciplina le procedure relative alle attività di connessione, gestione, pianificazione, sviluppo e manutenzione della rete di trasmissione nazionale, nonché di dispacciamento e misura dell'energia elettrica. Descrive regole, trasparenti e non discriminatorie, per:

- l'accesso alla rete e la sua regolamentazione tecnica;

- lo sviluppo della rete e la sua gestione e manutenzione;
- l'erogazione del servizio di dispacciamento;
- la fornitura dei servizi di misura e di aggregazione delle misure;
- la regolazione delle partite economiche connesse ai diversi servizi;
- la sicurezza del sistema elettrico nazionale.

6.3 Esercizio della rete MT

La rete **MT** è generalmente esercita secondo delle configurazioni che dipendono dal contesto territoriale.

6.3.1 Configurazione tipica delle aree rurali

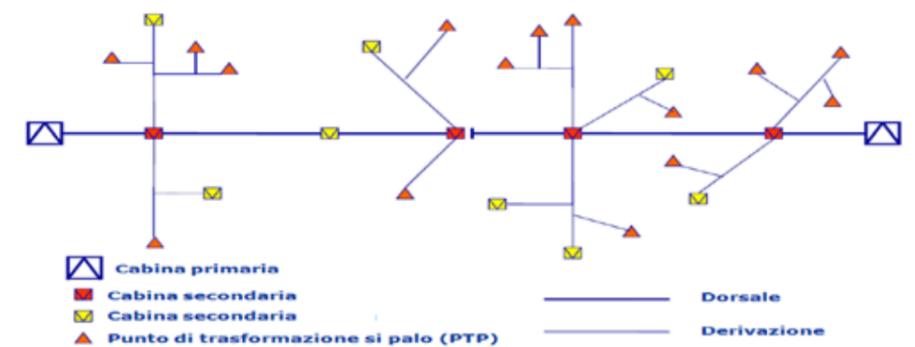


Figura 13 Schema semplificato dell'esercizio di una rete MT un'area rurale

- costituita da dorsali e derivazioni.
- rete prevalentemente aerea o in cavo aereo.
- parzialmente contro alimentabile.

6.3.2 Configurazione tipica delle aree urbane

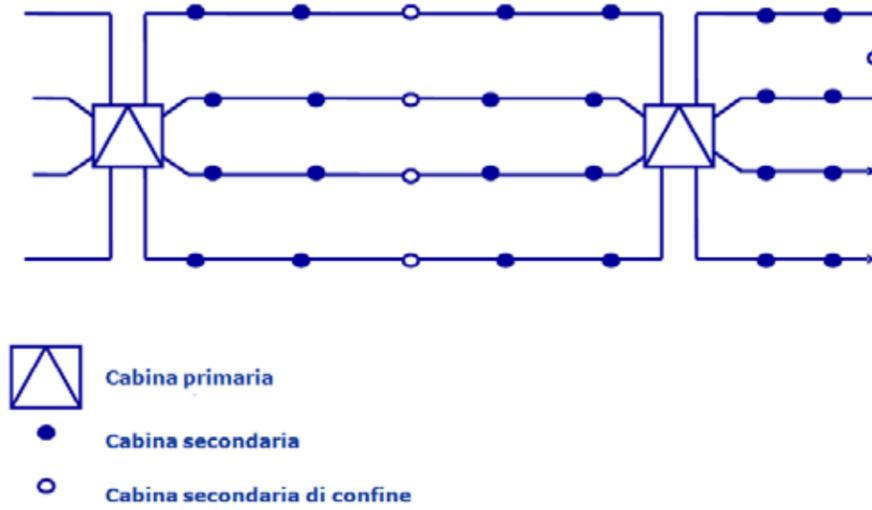


Figura 14 Schema semplificato dell'esercizio di una rete MT un'area urbana

- costituita prevalentemente da dorsali
- rete prevalentemente in cavo interrato
- elevata controllabilità

7 Quadro relazionale con clienti industriali inerenti criticità sulla qualità della tensione



Eventuali richieste di informazioni o reclami sono regolati dall'Allegato A alla [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#) che stabilisce i tempi massimi per i distributori relativamente all'evasione di tali richieste da parte dei clienti e fissa il set minimo di informazioni che la stessa deve contenere. Le comunicazioni e/o eventuali richieste di informazioni possono essere inviate dai clienti, tramite il proprio venditore di energia o direttamente ad E-Distribuzione S.p.A., utilizzando i seguenti canali ufficiali:

- numero verde fax 800046674
- PEC e-distribuzione@pec.e-distribuzione.it
- Casella Postale 5555 – 85100 Potenza

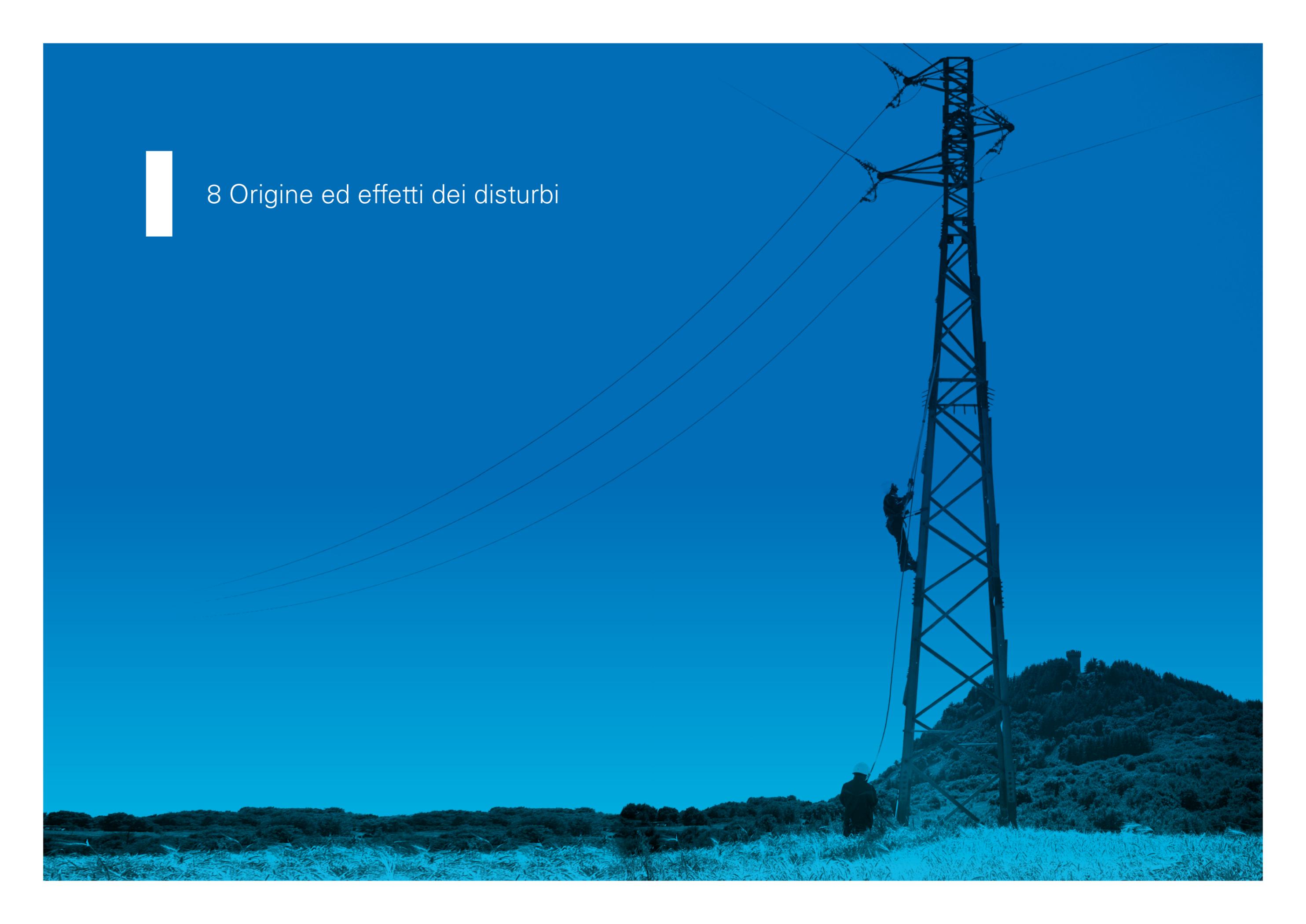
Oltre ai suddetti canali, eventuali richieste di informazioni possono essere inviate dai clienti, previa registrazione, anche mediante il portale di E-Distribuzione S.p.A. (indirizzo web: www.e-distribuzione.it) oppure chiamando il servizio clienti di E-Distribuzione S.p.A. al numero 800 085 577 (attivo dal lunedì al giovedì dalle 9.00 alle 12.30 e dalle 14.00 alle 16.00 e il venerdì dalle 9.00 alle 12.30).

Le richieste pervenute a detti canali vengono assegnate alle Unità tecniche territorialmente competenti le quali effettuano l'analisi della comunicazione, la risoluzione della problematica eventualmente segnalata e la risposta al cliente. La risposta viene elaborata consultando gli archivi informatici contenenti i dati certificati che riguardano le [interruzioni](#) (transitorie, brevi e lunghe) nonché relativi ai [buchi di tensione](#) rilevati sulle reti di media tensione.

La verifica della tensione di alimentazione, per i clienti allacciati alla rete di bassa tensione, è una prestazione regolata dalla stessa [Deliberazione ARERA n. 646/2015/R/eel](#); la verifica di tensione viene eseguita secondo i criteri stabiliti dalla norma [CEI EN 50160](#).

Sono in corso evolutive al sito internet di E-Distribuzione S.p.A. finalizzate a fornire a tutti i clienti informazioni di dettaglio e costantemente aggiornate sulla qualità dell'alimentazione elettrica nel punto di consegna, nonché specifici form interattivi volti ad una migliore interazione con i clienti.

Sin d'ora, comunque, sul sito internet di E-Distribuzione S.p.A. sono già disponibili diversi servizi e informazioni riguardanti la qualità del servizio, comprese sezioni specifiche dedicate a clienti e produttori.



8 Origine ed effetti dei disturbi

Come evidenziato nella presente Guida, a livello tecnico, la qualità della tensione è influenzata da molteplici fattori, insiti nella tipologia e struttura delle reti elettriche, a qualunque livello di tensione. L'origine di ciascun disturbo sulle apparecchiature del Cliente e sui componenti della rete elettrica a monte, può essere più o meno facilmente individuabile o per nulla individuabile, in funzione delle caratteristiche del disturbo propagatosi.

A titolo informativo, a livello internazionale si ricorda l'articolo CIREN Paper 655 di Giugno 2013, nel quale si analizza l'origine dei suddetti buchi di tensione (rete AT o MT o BT) e la loro propagazione nei diversi livelli di tensione, sulla rete elettrica italiana monitorata.

In particolare per la determinazione della possibile origine si è utilizzato il metodo basato sul monitoraggio della rete MT, secondo il progetto QuEEN.

Il metodo permette una stima, in termini percentuali, nel numero di buchi di tensione originati da rete AT basandosi su:

- rilevazione degli eventi legati alle protezioni di linea AT;
- analisi degli eventi su rete MT, anche in considerazione della contemporaneità di un evento AT

I risultati riportano una situazione abbastanza definita sull'origine dei buchi di tensione, nonché fanno rilevare una sostanziale differenza nella distribuzione territoriale delle classi dei buchi di tensione sul territorio italiano monitorato.

In tale contesto, si è analizzata anche la propagazione sulla rete BT dei buchi di tensione osservati su rete MT, tenendo conto che i guasti polifase su rete MT originano eventi sia su rete MT sia su rete BT, e guasti monofase a terra non generano buchi di tensione.

Ad oggi, come prescritto dalla regolazione, a valle dell'attività di registrazione dei buchi di tensione, della loro analisi, e della loro classificazione preliminare, è necessaria un confronto sui dati acquisiti da ciascun DSO con quelli registrati dal TSO, al fine di giungere ad una definizione, il più possibile condivisa, sulla corretta assegnazione dell'origine dei buchi di tensione.



9 Criteri di immunizzazione

I ruoli

Criteri di progettazione

Possibili ulteriori azioni a cura di E-Distribuzione S.p.A.
e i clienti finalizzate al miglioramento della qualità e
della continuità dell'alimentazione elettrica

Use cases cliente sito in Campania

9.1 I ruoli

9.1.1 Il ruolo del Distributore di energia elettrica

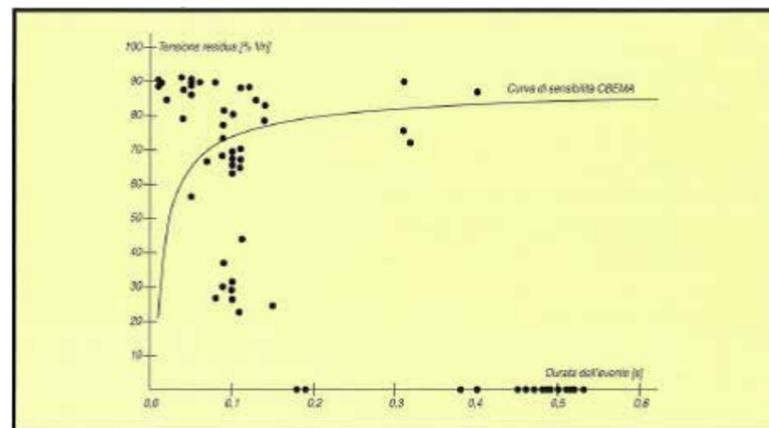
La norma **CENELEC EN50160**, imponendo le caratteristiche fisiche che la somministrazione dell'energia elettrica deve rispettare, fissa dei vincoli per il Distributore, ma implicitamente gli attribuisce dei compiti di controllo sul comportamento dei soggetti collegati alla rete; pertanto occorre rivedere il concetto classico di potenzialità della rete elettrica, intesa come capacità di distribuire potenza ed energia, associandone anche l'aspetto relativo alla capacità di assorbire quota parte del disturbo generato dal singolo cliente fintanto che e nei limiti entro i quali i livelli di compatibilità fissati nello standard **EN50160** vengano verificati per la pluralità della clientela.

Seguendo questo criterio è necessario che il Distributore:

- realizzi e gestisca gli impianti entro determinati standard qualitativi e accetti una certa quantità di disturbi iniettata nella rete dagli utenti, senza superare certi livelli di disturbo totale in rete, entro determinati livelli di compatibilità;
- collabori a sviluppare con i soggetti preposti la normativa tecnica e le regole commerciali, tenendo conto anche delle esigenze e doveri degli utilizzatori;
- diffonda l'informativa per rendere consapevoli utenti, costruttori e impiantisti della natura del problema e dei provvedimenti da prendere per limitare le emissioni e contenere gli effetti negativi dei disturbi.

Uno degli elementi più importanti è la conoscenza della distribuzione annua dei **buchi di tensione** e **interruzioni transitorie**.

In figura 2.1 è riportata una tipica distribuzione annuale di tali elementi presso una utenza **MT**: da essa si rileva che il maggior numero di **buchi di tensione** (circa 80%) ha durata di 100 +120 ms e profondità che nel 50% dei casi non supera 30% Vn, la durata delle interruzioni transitorie è compresa di norma tra 0,45 e 0,55 s.



9.1.2 Il ruolo di Confindustria

Dare una informativa adeguata per sensibilizzare preventivamente gli associati al problema dei disturbi interessando i progettisti di impianti, gli installatori e i costruttori, in modo da farli operare in un quadro coordinato e coerente tenendo conto del fatto che non esiste un coordinamento normativo a livello sistemico che assicuri un'adeguata compatibilità. Quindi in assenza di specifiche indicazioni da parte dei clienti, sia i progettisti che i costruttori sarebbero portati a offrire soluzioni di minimo costo che purtroppo non considera i sopraccitati aspetti.

9.1.3 Il ruolo dei progettisti

Il progettista a sua volta deve informare adeguatamente il cliente in riferimento alle problematiche di immunizzazione degli impianti e dei singoli processi produttivi.

9.1.4 Il costruttore di apparecchi utilizzatori

Il ruolo del costruttore di apparecchi utilizzatori è fondamentale perché la determinazione dei limiti di emissione e dei livelli di immunità dipendono dalla sua azione progettuale. Tuttavia, poiché non esiste un coordinamento a livello di sistema definito dalla normativa internazionale, il costruttore è condizionato dal mercato ove agisce in un regime di prezzi competitivo e questo fatto crea l'ostacolo più serio al controllo coordinato dalla compatibilità. In assenza di regolamentazione, il costruttore di impianti disturbanti non è portato a seguire la politica di contenimento della emissione dei disturbi, perché il costo della limitazione del disturbo generato si aggiunge a quello proprio dell'apparecchio o dell'impianto da lui prodotto e c'è il pericolo che il cliente, non adeguatamente informato, faccia una scelta di versa basata solo sui costi diretti e non in un'ottica di global cost che tenga in considerazione gli impatti dei **buchi di tensione** nei processi produttivi.

9.2 Criteri di progettazione

9.2.1 Criteri per la realizzazione degli impianti

Particolare attenzione va posta nella fase di progettazione degli impianti elettrici. Le scelte effettuate in questa fase influenzano fortemente l'esercizio dell'impianto per lungo periodo.

Si ricorda che, oltre alla Norma CEI 99-4 regolamentazione tecnica di riferimento per vari aspetti specifici, il DM 37/08 ha formalizzato i problemi pertinenti il progetto,

l'installazione, il collaudo degli impianti e l'abilitazione dei professionisti operanti nel campo degli impianti tecnologici.

9.2.1.1 Classificazione degli utilizzatori

Un passo fondamentale nel progetto di un impianto elettrico utilizzatore, specialmente in relazione alle esigenze di continuità e disponibilità dell'alimentazione, è la classificazione degli utilizzatori (come singole utenze o come aggregati di utenze) in termini di conseguenze sul funzionamento dei processi produttivi e quindi di prestazioni dell'alimentazione elettrica.

In particolare, è possibile definire carichi per i quali la mancanza dell'alimentazione ha un impatto non rilevante sulla produzione e sulla sicurezza del personale e degli impianti (sono tollerabili anche interruzioni per un tempo relativamente lungo, nell'ordine anche delle ore), o carichi per i quali, dato l'impatto che essi hanno in termini di produzione e sicurezza, è necessario che l'alimentazione sia ripristinata entro tempi generalmente brevi, compatibilmente con le esigenze del processo produttivo o del servizio svolto. È infine possibile definire utenze o gruppi di utenze di tipo "privilegiato" (tipicamente utenze estremamente sensibili ai disturbi di rete) dal cui corretto funzionamento dipendono la sicurezza del personale, degli impianti e la corretta esecuzione di processi il cui arresto può causare rilevanti perdite di produzione e, quindi, economiche. Tutti questi elementi sono necessari per definire le esigenze di alimentazione delle differenti tipologie di utenze, portando alla definizione degli schemi elettrici di impianto più opportuni (radiale, doppio radiale, anello chiuso, necessità di ridondanza, ecc.) e alla scelta delle possibili sorgenti di alimentazione, "ordinaria" (generalmente fornita da un'unica sorgente di alimentazione affidabile, generalmente la rete di alimentazione del Distributore), "di riserva" e "di sicurezza".

9.2.1.2 Schemi elettrici d'impianto

9.2.1.2.1 Distribuzione BT

Massima semplificazione degli schemi riducendo per quanto possibile le interconnessioni tra trasformatori diversi, specialmente se realizzate attraverso collegamenti di notevole lunghezza.

Separazione delle linee di distribuzione in funzione delle diverse tipologie degli utilizzatori (illuminazione, servizi, forza motrice, controllo, dati, ecc.).

9.2.1.2.2 Distribuzione MT

Massima semplicità di schema e in particolare alimentazione radiale per i centri di carico più significativi (con eventuale doppia alimentazione).

Anelli, ove la necessità continuità dell'alimentazione sia di primaria importanza.

9.2.1.2.3 Ridondanza ed indipendenza

La continuità di servizio è anche garantita da un'adeguata ridondanza d'impianto, intesa come l'esistenza di uno o più componenti d'impianto (cavi, trasformatori, interruttori ecc.) che possono, in sostituzione dei componenti omologhi, assumerne le funzioni. L'entità dei componenti è legata sia al singolo componente, sia al rapporto

costi-benefici. Non necessariamente un elemento ridondante deve essere "attivo" nella rete, collegato e pronto per il funzionamento, ma la ridondanza può infatti essere assicurata anche da elementi disponibili a magazzino. In questo ultimo caso è fondamentale considerare il tempo di attivazione indipendente da automatismi di commutazione, ma dai tempi di intervento degli operatori. Al concetto di ridondanza è associato necessariamente quello di "indipendenza": il miglioramento delle condizioni di funzionamento è ottenibile solo se i due elementi non vanno fuori servizio contemporaneamente per la medesima causa (manutenzione, guasto, ecc.).

Considerazioni analoghe possono essere svolte per i gruppi di riserva, continuità, sicurezza, sistemi di controllo, supervisione ecc., nonché per i dispositivi e circuiti di protezione.

9.2.1.2.4 Autoproduzione

La presenza di gruppi di autoproduzione consente, entro ben precise condizioni, il mantenimento in marcia isolata di quota parte dei carichi di stabilimento a seguito di guasti sulla rete esterna che provochino la mancanza dell'alimentazione da parte del Distributore.

Affinché tale funzionamento possa realizzarsi, si rende necessaria un'impostazione coerente dell'impianto di potenza, con la creazione di sezioni di rete privilegiata (destinata al funzionamento in isola) e alla sezione relativa all'autoproduzione.

Negli ultimi anni sono stati realizzati molti impianti di produzione connessi ad impianti utilizzatori esistenti sia di singole abitazioni che di unità produttive. A causa della tipologia di apparecchiature adottate (in gran parte impianti fotovoltaici ed inverter che non devono sostenere la tensione di rete) solo in limitatissimi casi questi impianti risultano efficaci per il funzionamento in isola di parte dei carichi del cliente.

9.2.1.2.5 Protezioni e loro coordinamento

La tipologia delle protezioni installate sia a valle che a monte del punto di consegna e la loro taratura devono essere coordinate al fine di garantire, da un lato, il corretto esercizio della rete del Distributore e, dall'altro, la continuità di servizio e l'integrità degli impianti utilizzatori.

In particolare, le problematiche relative al coordinamento tra le protezioni degli impianti dei clienti e quelle di rete sono fondamentali affinché guasti negli impianti dei clienti non si possano propagare a livello della rete di distribuzione, causando interruzioni anche ad altri clienti connessi alla stessa linea di alimentazione con un peggioramento della qualità della fornitura.

Indicazioni relative alla selettività delle protezioni del cliente sono contenute nella Norma [CEI 0-16](#), [CEI 0-21](#) e [CEI 99-4](#).

9.2.2 Criteri di scelta delle apparecchiature relativamente ai livelli di immunità

Tutti gli apparecchi utilizzatori risultano sempre, in misura differenziata, sensibili alle irregolarità o disturbi dell'alimentazione. Gli apparecchi sono a loro volta più o meno integrati nell'ambito di specifici processi industriali, la cui sensibilità dipenderà dal

ruolo/grado di integrazione dell'apparecchio sensibile all'interno del processo stesso e dalle conseguenze effettive su questo ultimo del disturbo di rete (specifiche del processo in esame).

Nella Tabella 8 a seguire sono sintetizzati, a titolo di esempio, gli apparecchi più sensibili ai vari fenomeni, con riferimento anche alle tipologie di **variazioni di tensione**.

	FENOMENO CONSIDERATO	APPARECCHIO SENSIBILE	CONSEGUENZE	COMMENTI
A	Buchi di tensione: $V_{\text{residua}} \geq 70 \% V_N$ $\Delta t \leq 500 \text{ ms}$	Apparecchi elettronici digitali di controllo di processo o macchinari calcolatori in genere. Azionamenti a velocità variabile (elettronica di potenza).	Arresti e/o anomalie dei processi/macchinari. Interventi delle protezioni dell'elettronica di potenza.	Problematica risolvibile mediante l'impiego di apparati in categoria 2 ²⁵
B	Buchi di tensione: $V_{\text{residua}} 40 \div 70 \% V_N$ $\Delta t \leq 200 \text{ ms}$ $V_{\text{residua}} \geq 80 \% V_N$ $\Delta t \leq 5000 \text{ ms}$	In aggiunta a quanto sopra caduta dei dispositivi elettromeccanici (relè ausiliari teleruttori...).	Arresto quasi globale di tutte le utenze.	Problematica risolvibile mediante l'impiego di apparati in categoria 3 ²⁶
C	Sovratensioni non impulsive (lunga durata)	Motori e macchine elettriche. Bobine di contattori Capacità	Riduzione di vita degli isolamenti.	
D	Variazioni lente di tensione: $\Delta V = \pm 10 \% V_N$	Impianti di illuminazione. Gli stessi apparecchi in A- B	In caso di riduzione rallentamento o arresto di motori elettrici. Le stesse conseguenze di A, B	
E	Sovratensioni impulsive	Componenti elettronici sia di controllo che di potenza. Motori, cavi e macchinario elettrico in genere.	Perforazione isolamenti. Danneggiamenti ai circuiti elettronici.	
F	Transitori di commutazione (ponti convertitori, tecniche chopper)	Linee di trasmissione dati e segnali a basso livello di potenza. Apparecchi elettronici di controllo.	Malfunzionamento dei sistemi di controllo e di elaborazione dati Malfunzionamento dei sistemi di controllo e di elaborazione dati	
G	Armoniche	Condensatori. Relè di protezione. Collegamenti a basso livello di potenza. Motori e macchine rotanti. Trasformatori. Cavi elettrici.	Sovrariscaldamento e danneggiamento condensatori. Interventi intempestivi relè di protezione. Malfunzionamento sistemi di controllo e di trasmissione dati. Incremento delle perdite di motori, trasformatori, cavi e conseguente sovrariscaldamento.	
H	Dissimetrie e squilibri	Motori elettrici e macchine rotanti in generale.	Sovrariscaldamento.	

Tabella 8 Apparecchiature elettriche sensibili

Con riferimento ai **buchi di tensione** e le **interruzioni** brevi, a titolo di esempio, in Figura 15 e Figura 16 sono riportate per alcune apparecchiature le curve sperimentali di sensibilità (curve di suscettibilità) che individuano, nel piano definito dal valore percentuale della tensione residua di alimentazione $V\%$ (o dell'ampiezza percentuale $\Delta V\%$ del **buco di tensione**) e dalla durata Δt dell'abbassamento di tensione,

²⁶ EN 61000-4-11
²⁷ EN 61000-4-34

coppie di valori $V\%$ ($\Delta V\%$) e Δt per le quali è garantito o meno il funzionamento dell'apparecchiatura.

In particolare, le curve sono riferite a personal computer (PC), ad apparecchiature di controllo (quali i controllori a logica programmabile, PLC, i controllori di processo e tutta l'elettronica con microprocessori dedicata alla gestione di fasi lavorative nell'ambito di processi industriali), agli azionamenti a velocità variabile (dispositivi basati sull'elettronica di potenza per la regolazione della velocità sia di motori in corrente continua che in alternata) ed ai sensori di misura e processo (tra cui possono essere considerati i relè, i teleruttori ed in generale i trasduttori).

Dall'analisi delle figure si evidenzia come le apparecchiature non abbiano, in generale, un comportamento uniforme a fronte dei disturbi. Tali diversità dipendono da vari fattori legati ai componenti che costituiscono l'apparecchiatura stessa e, per quanto riguarda le apparecchiature di controllo ed i PC, principalmente all'alimentatore su cui si ha l'impatto delle perturbazioni. Nel caso degli azionamenti, il disturbo influenza sia la parte di controllo sia quella di potenza, che però sono caratterizzate da livelli di suscettibilità nettamente diversi, con una minore sensibilità, in generale, dell'apparecchiatura di potenza.

In Figura 17 sono riportate le curve CBEMA-ITIC che si riferiscono ad apparecchiature del comparto IT. Queste curve sperimentali sono ricavate con il riferimento $V=120\text{Vac}$ $f=60\text{Hz}$, ma possono essere considerate valide senza significative variazioni ai valori di fornitura dell'energia come da standard europeo. Vi sono anche altre curve simili riferite alla componentistica elementare di potenza.

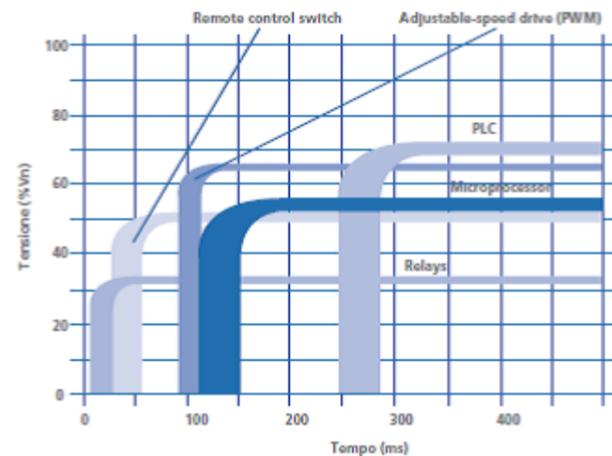


Figura 15 Curve di suscettibilità per PLC, relè, microprocessori ed azionamenti a velocità variabile

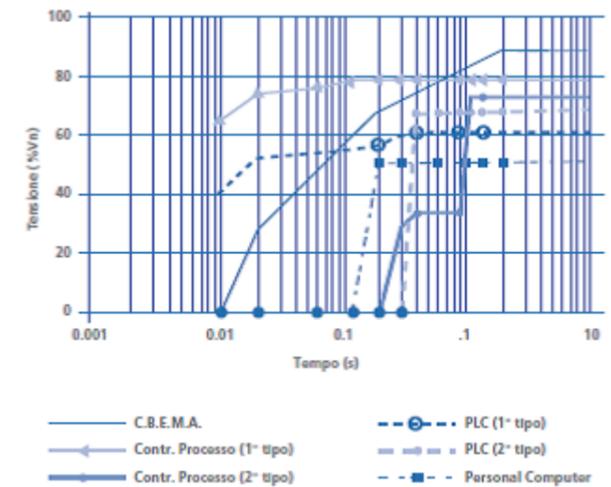


Figura 16 Curve di suscettibilità per PC e apparecchiature di controllo (PLC e Controllori di processo)

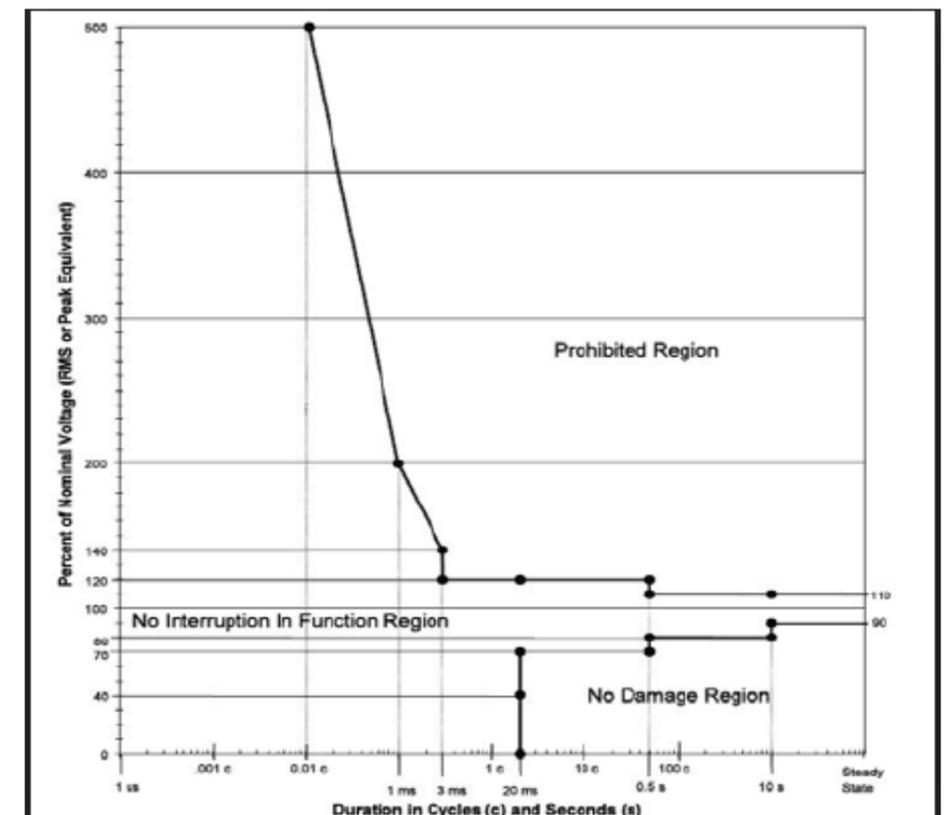


Figura 17 curva CBEMA rev.2000

La suscettibilità di un'apparecchiatura è praticamente definita dalla peggiore curva dei singoli componenti elementari che la compongono, siano essi di potenza, che di controllo. Va da se che, esaminate le curve di suscettibilità, senza opportuni accor-

gimenti da parte del costruttore, ogni apparecchiatura non può essere considerata immune a disturbi o guasti che avvengono in rete. Infatti anche un semplice buco di tensione originatosi sulla MT con bassi valori di tensione residua (quindi elevati valori di corrente – quindi minimo tempo di eliminazione da parte delle protezioni del distributore) non può, per limiti tecnici, essere contenuto a valori di durata inferiori a 70 ms, valori che sono quasi mai coerenti con una qualsiasi delle curve di cui sopra.

Per quanto riguarda i soli generatori si rimanda ai requisiti definiti nel **Grid Code europeo RfG (Requirements for generators)**, alle CENELECTS50549-1-2, all'allegato al **codice di rete Terna A70** e alle **CEI 0-16, CEI 0-21**.

Alcuni esempi delle curve di immunità dei generatori eolici e fotovoltaici nei **buchi di tensione** sono riportate in seguito.

Gli impianti di produzione statici connessi alle reti **MT** e **BT** di potenza nominale ≥ 6 kVA devono essere in grado di non disconnettersi non istantaneamente a fronte l'abbassamento tensione conseguente a un qualsiasi tipo di cortocircuito esterno, monofase o polifase (con e senza terra).

In particolare deve essere garantita la connessione alla rete nella zona al di sopra e lungo i punti della caratteristica (V -t) indicata, dove la tensione V è la tensione ai morsetti dell'impianto di produzione. I valori indicati sono in percentuale della tensione nominale.

Nell'intervallo di durata dell'abbassamento di tensione, l'impianto dovrà rimanere connesso alla rete, anche se non garantirà il valore di potenza immessa nell'istante immediatamente precedente al guasto. Al ristabilirsi delle normali condizioni di funzionamento, la potenza immessa in rete dovrà tornare ad un valore prossimo a quello precedente il guasto, in un tempo non superiore a 200ms.

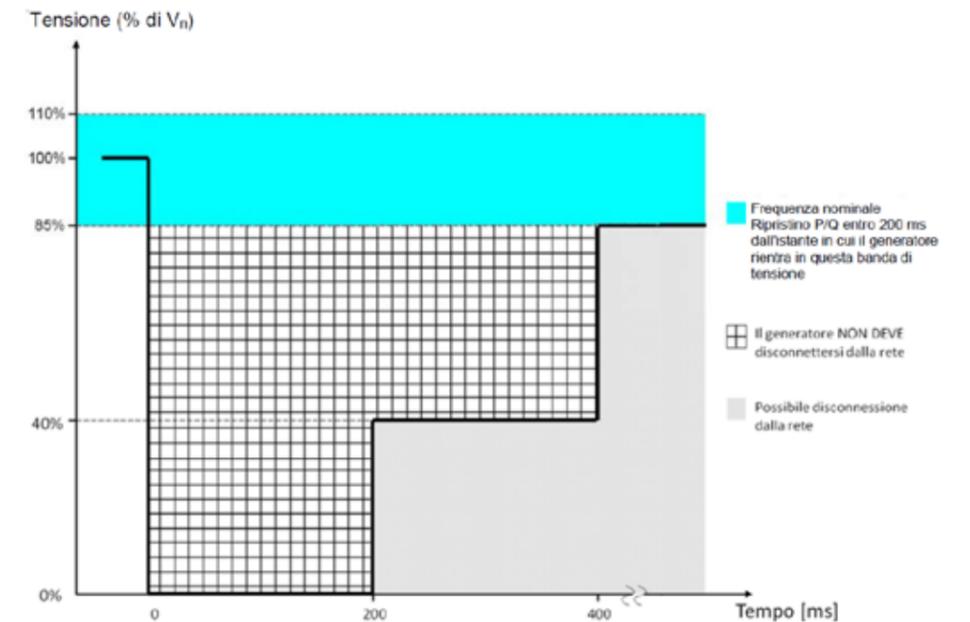


Figura 18 Curva LVFRT tratta dalla CEI 0-21

9.2.3 Desensibilizzazione dei processi produttivi sensibili a problematiche di buchi di tensione

Nel contesto di uno stabilimento industriale, oltre che di apparecchi sensibili, è opportuno parlare di processi sensibili ai disturbi poiché è in prima istanza la continuità del processo produttivo primario che deve essere salvaguardata.

Il processo produttivo necessita, come è noto, per il suo funzionamento, di molteplici vettori energetici (energia elettrica, aria compressa, vapore e acqua surriscaldata, ecc.) che devono essere forniti con valori ben definiti dei parametri caratteristici.

L'energia elettrica interviene poi nel processo di produzione degli altri vettori energetici. La mancanza anche di uno solo dei vettori energetici determina l'arresto del processo produttivo; da qui la necessità dell'approccio sistemico.

Con riferimento a un processo produttivo di media-alta complessità, già oggetto di provvedimenti di immunizzazione, in Tabella 9 si illustrano le conseguenze che si possono ragionevolmente attendere a fronte di **buchi di tensione/interruzioni**. Quanto indicato in Tabella 9 fa riferimento a una situazione impiantistica del tipo seguente:

- bobine contattori di stabilimento alimentate da tensione di rete;
- bobine contattori isola tecnica e utenze essenziali alimentate da UPS;
- sistemi di regolazione e controllo isola tecnica alimentati da UPS;
- memorie PLC e microprocessori derivati da rete separata da quella di potenza e realizzata con alimentatori adeguati;

- computer e controlli di livello superiore alimentati da UPS;
- sistema di protezioni elettriche adeguato ed alimentato da una alimentazione ausiliaria privilegiata (UPS, batterie con adeguata autonomia e sistema di supervisione della carica e dello stato di vita, etc., non alimentazione diretta da rete).

Da quanto esposto si conclude che, nonostante i provvedimenti adottati, le conseguenze dei **buchi di tensione** e delle interruzioni possono essere pesanti in termini economici e ciò è tanto più vero quanto più è complesso e integrato il processo produttivo.

TIPOLOGIA DEL FENOMENO	CONSEGUENZE
Riduzione di tensione: $\Delta V < 30\% \text{ VN}$ $\Delta t \leq 80\div 100 \text{ ms}$	Nessuna conseguenza sul processo produttivo primario.
Riduzione di tensione: $\Delta V \geq 30\% \text{ VN}$ Δt tra 50 ms e 300 ms	Arresto del processo produttivo primario per caduta dei contattori di utenza; continuità di erogazione dei restanti vettori energetici. La ripresa della produzione si ha in un tempo dipendente dalla complessità del processo produttivo e può anche arrivare a qualche ora.
Riduzione di tensione: $\Delta V \geq 30\% \text{ VN}$ Δt tra 300 ms e tempo limite (*)	Arresto del processo produttivo primario per caduta contattori di stabilimento. Arresto dei processi di produzione vettori energetici per intervento protezioni. I parametri dei vettori energetici si mantengono a valori tali da consentire il rapido riavviamento degli impianti di generazione. Il tempo di ripresa è comunque superiore al caso precedente.
Riduzione di tensione: $\Delta V \geq 30\% \text{ VN}$ $\Delta t \geq \text{tempo limite (*)}$	A differenza del caso precedente occorre riportare gradualmente i parametri dei vettori energetici ai valori nominali. Il tempo di ripresa minimo è comunque di qualche ora.

(*) Tempo limite: tempo entro il quale la variazione dei parametri caratteristici dei vettori energetici rimane contenuta entro valori tali da consentire un rapido ripristino ai valori standard.

Tabella 9 Sintesi delle conseguenze dei buchi e interruzioni brevi sui processi (situazione impiantistica di riferimento descritta)

Se in aggiunta a quanto sopra vengono installate apparecchiature di classe 2 e/o classe 3 i fenomeni contemplati nelle prime tre righe della tabella saranno meno avvertiti dal processo, ma in ogni caso non è garantita l'immunizzazione totale.

9.2.3.1 Ulteriori considerazioni nei processi di desensibilizzazione

In una installazione industriale sono presenti contemporaneamente, macchine e sistemi di comando, controllo e regolazione. Per rendere insensibili i sistemi di comando ai disturbi condotti, occorre alimentarli con adeguati gruppi di continuità, mentre più complesso si presenta in generale il problema di rendere le macchine insensibili ai disturbi essendo di norma necessario esaminare il processo in cui sono inserite. In Figura 19 è riportato un diagramma di flusso riassuntivo delle possibilità, di desensibilizzazione alle interruzioni transitorie, dei processi industriali.

Poiché le interruzioni transitorie (durata ca. 0,5s) causate dai dispositivi di richiusura automatica asserviti dalle protezioni delle linee MT, sono di gran lunga le interruzioni più probabili, è necessario innanzitutto valutare se l'inerzia del processo sia tale da consentire di superare senza danni una interruzione della tensione di 0,5s.

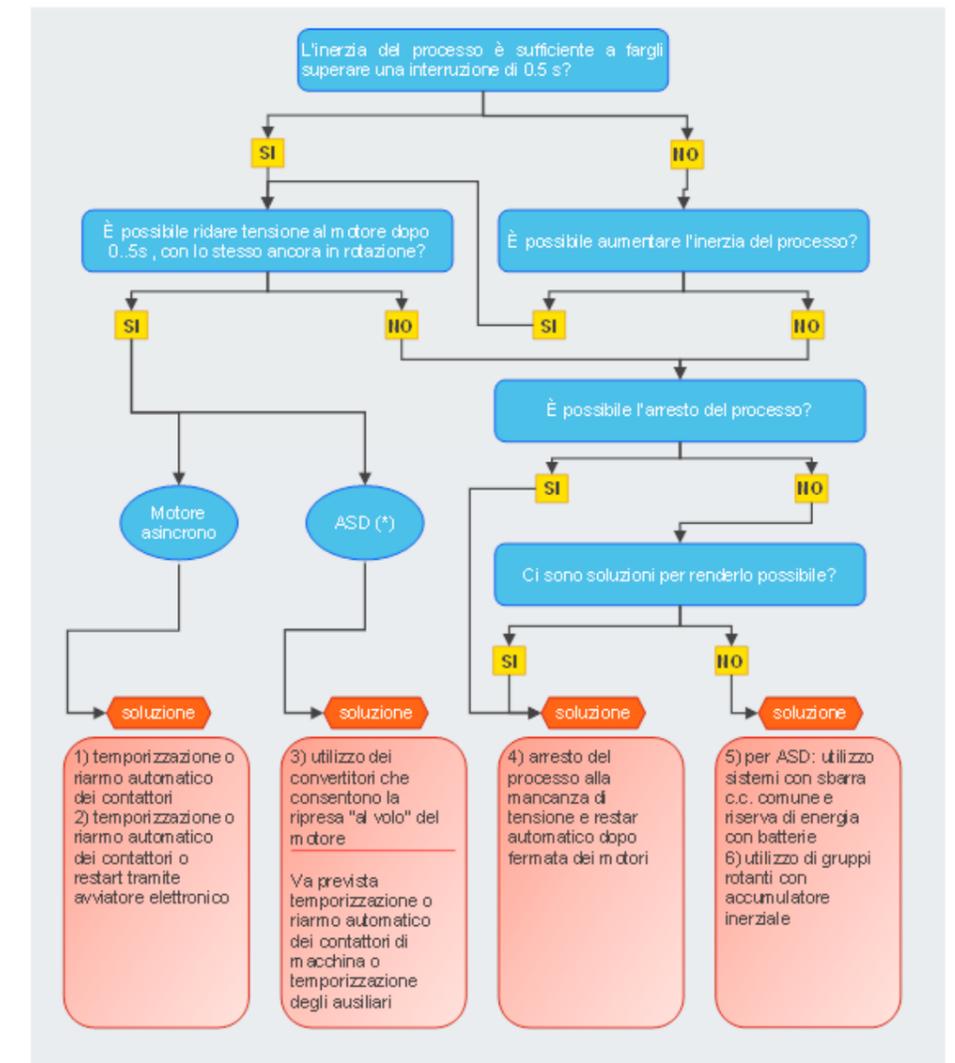


Figura 19 Desensibilizzazione, alle interruzioni transitorie, dei processi industriali

In caso affermativo si esamina se è possibile rialimentare i motori dopo 0,5 s tenendo presente che lo spunto di corrente e di coppia che si presenta al ritorno della tensione può raggiungere dieci volte il valore nominale.

Tale pratica è in generale consentita per piccoli motori c.a. che azionano direttamente la macchina operatrice (in assenza pertanto di ingranaggi, bielle, ecc.) La soluzione n°1 di Figura 19 riporta le scelte più diffuse per consentire ai motori di essere rialimentati dopo 0,5 s; esse consistono o nel temporizzare le ricadute dei contatti di comando del motore alla mancanza di tensione con un tempo di 0,6 s, o nel pre-

vedere l'apertura e la successiva richiusura automatica dei contattori al ritorno della tensione con apertura definitiva per mancanza della tensione superiore ad un certo tempo. La scelta tra le due tipologie va effettuata in relazione alle caratteristiche del processo.

Con la prima soluzione il motore rallenta maggiormente e si ha lo spunto contemporaneo di tutti i carichi al ritorno della tensione; per contro si esaurisce più rapidamente la tensione residua di statore facilitando la ri-alimentazione del motore stesso.

Nella seconda soluzione il motore rallenta meno ed è possibile, utilizzando idonei temporizzatori, comandare la richiusura automatica dei vari contattori secondo una logica prestabilita evitando la ripartenza contemporanea di tutti i motori; si riduce così lo spunto complessivo del sistema al ritorno della tensione.

Per impianti esistenti la scelta più economica consiste nell'alimentare le bobine in c.a. dei contattori di macchina tramite gruppo di continuità al secondario del quale va installato un contattore che apre definitivamente il circuito per mancanza di tensione di alimentazione di durata >0,6s (vedi Figura 20).

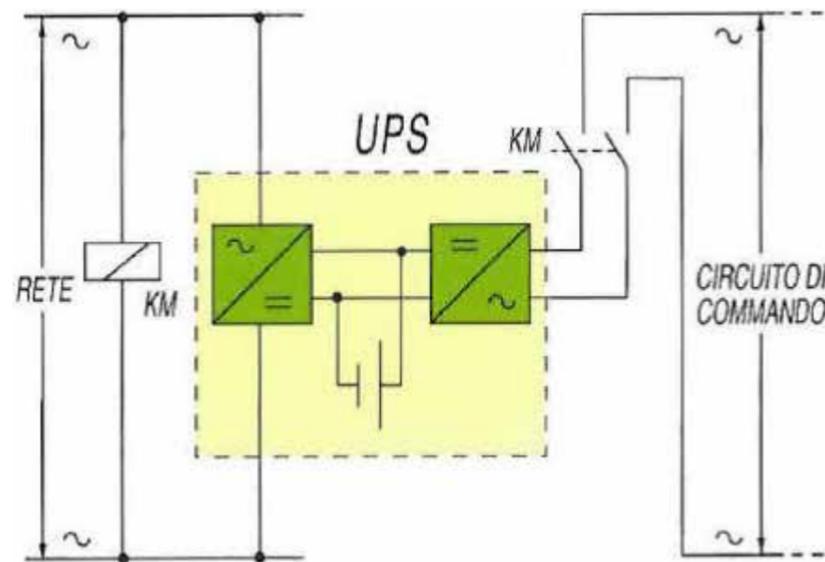


Figura 20 Alimentazione di contattori c.a. tramite UPS

In via ordinaria peraltro la temporizzazione dei contattori alla mancanza di tensione può essere fatta alimentando in c.c. le bobine tramite un ponte di Graetz; la tensione in c.c. è sostenuta per il tempo necessario da un idoneo condensatore; il pulsante di apertura posto in serie al condensatore determina comunque l'apertura istantanea del contattore. Per contattori alimentanti motori di potenza limitata l'alimentazione c.a./cc e il condensatore sono forniti a richiesta direttamente dal costruttore del contattore.

Il riarmo automatico dei contattori al ritorno della tensione con apertura definiti va per mancanza della tensione superiore ad un certo tempo (per es. 0,6 s), si ottiene ritardando l'apertura del contatto di ritenuta dal tempo prefissato (per es. 0,6 s), e

utilizzando un pulsante di apertura che rimane aperto dopo l'intervento visto che il contatto di ritenuta è temporizzato e il rilascio di un pulsante di apertura ordinario comporterebbe la ripartenza del motore.

In Figura 21 sono riportati due esempi di schemi realizzativi per contattori temporizzati o a riarmo automatico con apertura definitiva per mancanza della tensione superiore ad un certo tempo; diffuse applicazioni di questa soluzione si trovano nell'industria alimentare, industria chimica, filature, ecc.

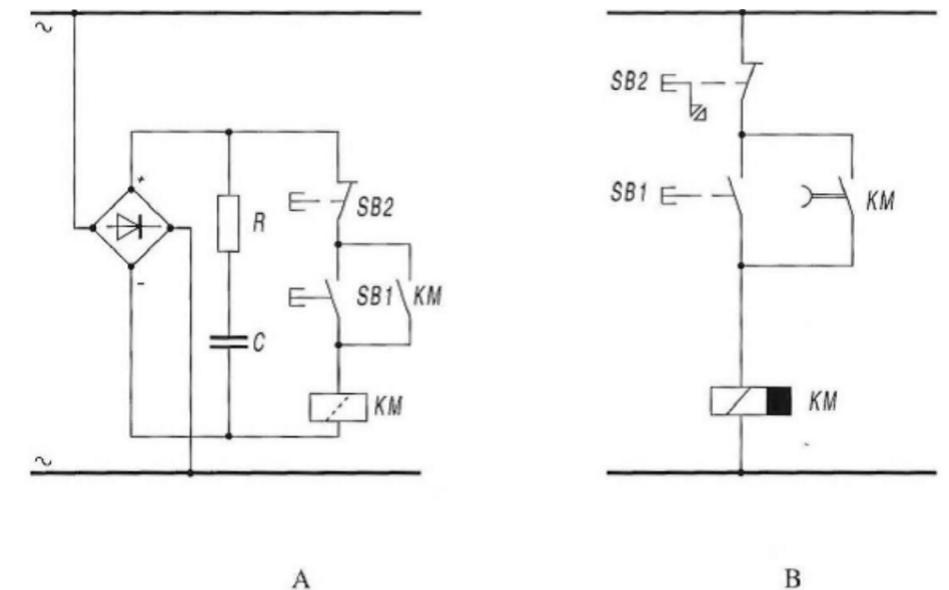


Figura 21 Esempi di schemi di contattori a temporizzazione (A) o con riarmo automatico (B)

In presenza di ingranaggi o altri meccanismi occorre installare nel collegamento tra motore e macchina operatrice una frizione di sicurezza o un parastrappi che assorba gli spunti di coppia, oppure effettuare il re-start del motore ancora in rotazione per mezzo di avviatori elettronici (soft-start²⁸) che consentano la ripartenza con tensioni e tempo di salita variabile. Tali parametri normalmente vengono "tarati" per mezzo di prove effettuate direttamente sulle macchine. (Soluzione n° 2 Figura 20; esempio tipico di adozione di tale soluzione è quello dei motori c.a. che azionano presse idrauliche).

L'avviatore elettronico è inoltre indispensabile in caso di restart contemporaneo di molti motori per limitare lo spunto di corrente complessivo e di conseguenza limitare l'abbassamento di tensione alla rete di stabilimento. Nel caso di azionamenti a velocità variabile (ASD) che operino in un processo di inerzia sufficiente, qualora sia possibile farli ripartire mentre sono ancora in rotazione la soluzione è quella di utilizzare convertitori che consentano la ripresa "al volo" del motore (soluzione n°3 di Figura 19).

²⁸ È importante ai fini di un corretto restart utilizzare apparecchi che al ritorno della tensione di rete inizino la rampa di ri-accellerazione nei tempi più brevi possibili (100+200ms).

Nel caso in cui il convertitore sia un inverter la ripresa è effettuata con una rampa di tensione che può tener conto del valore della tensione residua di statore; nel caso di convertitore c.a./c.c. la ripresa è effettuata in limitazione di corrente.

È necessario ovviamente, in entrambi i casi, che i contattori di macchina siano temporizzati o a riarmo automatico, e che quelli ausiliari siano temporizzati.

Nel caso in cui il motore c.c. sia chiamato a lavorare anche da generatore, può essere necessario inserire in serie con il motore idonea reattanza di limitazione, che eviti l'intervento dei fusibili dei tiristori, nel caso in cui la mancata commutazione di un tiristore, conseguente al funzionamento da generatore in presenza di un **buco di tensione**, determini un c.c. ai capi del motore.

Per ovviare a tale problema, in alternativa a questa soluzione è possibile installare un contattore ad apertura rapida, a monte del motore c.c., la cui apertura prevenga l'intervento dei fusibili; di norma è anche necessario inserire idonee resistenze per variare la costante di tempo del circuito. (Un esempio tipico di applicazione di tali soluzioni è quello dei motori c.c. degli estrusori usati diffusamente nell'industria del materiale plastico).

Qualora il processo consenta l'arresto del motore (esempio tipico è quello dei compressori di aria quando è previsto idoneo serbatoio di aria), l'intervento, può consistere semplicemente nel restart automatico del motore non appena questo si sia fermato (soluzione n° 4 in Figura 19).

Qualora infine l'inerzia del processo sia insufficiente e non sia possibile l'arresto del processo (esempio tipico di questa situazione è quello dei torni, frese, ecc. a controllo numerico), le soluzioni possibili di desensibilizzazione sono quelle indicate con n° 5 e 6 in Figura 19. La soluzione n° 5, valida per ASD sia in processi multi-motor, che mono-motore, prevede nel primo caso l'utilizzo di azionamenti del tipo di quelli indicati in Figura 22. in cui dopo un'unica trasformazione c.a./c.c. viene effettuata una seconda trasformazione per ogni motore c.c./c.c. o c.c./c.a. e del tipo riportato in Figura 23, per quanto riguarda il secondo, in cui viene fatto un raddrizzamento per ogni macchina.

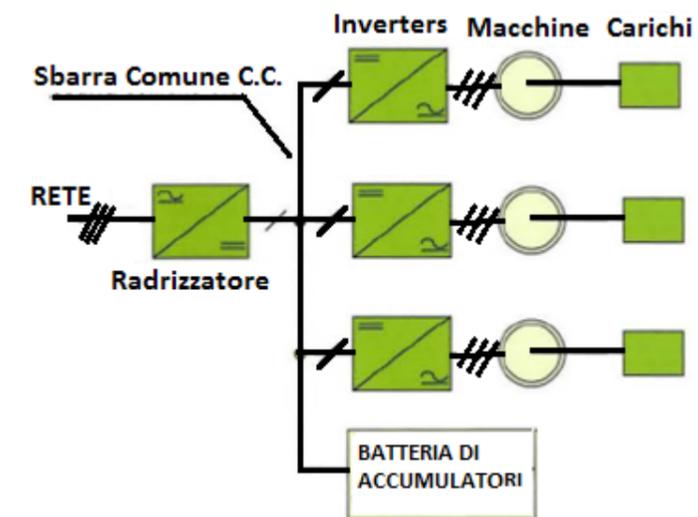


Figura 22 Schema di diversi ASD con sbarra c.c. comune

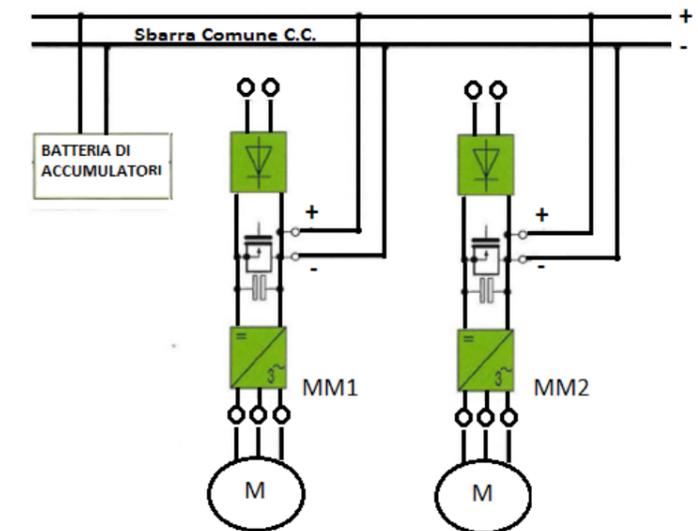


Figura 23 Schema di alimentazione della sezione c.c. di inverter con idonea batteria di accumulatori

Al riguardo si precisa che in molti convertitori di frequenza sono disponibili in morsetteria i contatti della sezione c.c., con possibilità quindi di procedere ad adattamento di convertitori già in esercizio. Entrambi gli schemi consentono, da un lato, di trasferire energia tra dispositivi che in un dato istante funzionano da inverter o da raddrizzatore, e dall'altro di sostenere il sistema per mezzo di idonea batteria di accumulatori durante l'interruzione transitoria. Infine si può prevedere una soluzione indicata con il n°6 in Figura 19 che prevede l'alimentazione delle apparecchiature per mezzo di un sistema di continuità rotante alimentato tramite inverter e batterie di ridotta autonomia (5 min) Figura 24.

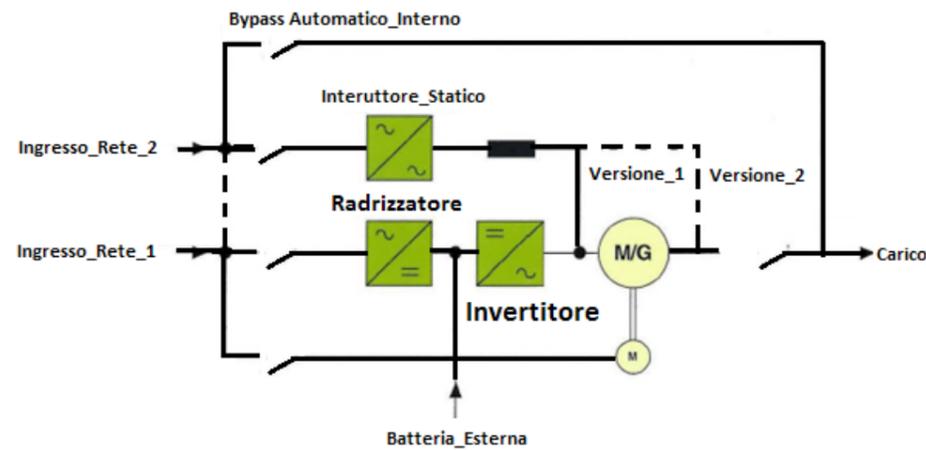


Figura 24 Schema di principio gruppo di continuità rotante sincrono con batterie ad autonomia ridotta

Altre soluzioni che si basano sull'utilizzo di macchine rotanti, possono essere individuate con valutazione caso per caso.

9.2.4 Apparecchiature per la limitazione dei disturbi da installare negli impianti

Immunizzazione delle parti di impianto sensibili ai **buchi di tensione** ad esempio tramite UPS (statiche) o Fly Wheel.

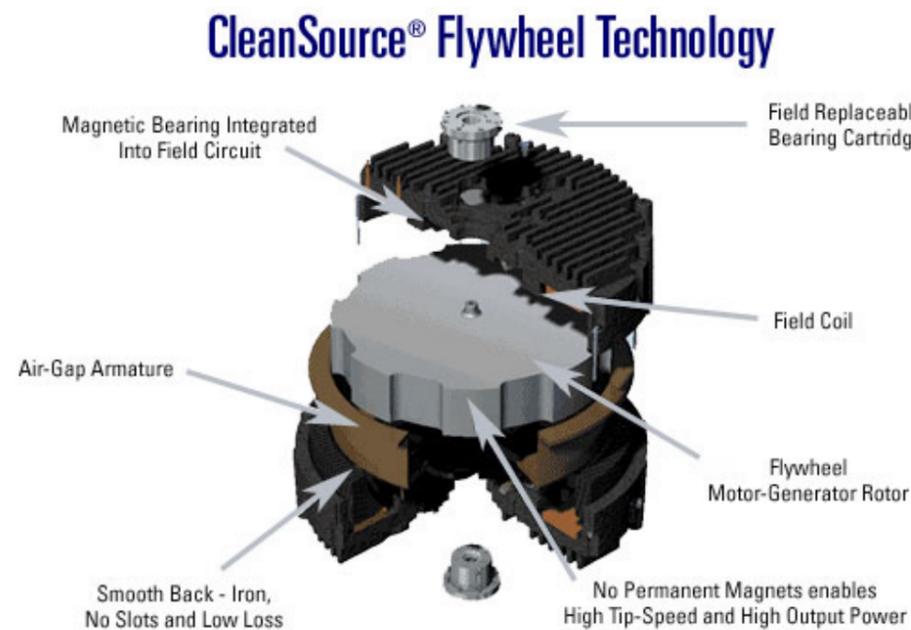


Figura 25 Flywheel



Figura 26 UPS

9.3 Possibili ulteriori azioni a cura di E-Distribuzione S.p.A. e i clienti finalizzate al miglioramento della qualità e della continuità dell'alimentazione elettrica

È fondamentale ricordare che le perturbazioni sono "normalmente" presenti sulle reti di distribuzione. La loro numerosità può essere ridotta, ma mai completamente eliminata da parte del distributore.

Inoltre, poiché la qualità del servizio deriva dal comportamento dell'intero sistema elettrico, comprendendo sia la rete di distribuzione che la rete d'utenza, è indispensabile anche il coinvolgimento e la partecipazione del Cliente.

Il Distributore può agire attraverso:

- la scelta dello schema di allacciamento più consono al livello di qualità richiesto dal processo industriale (ad es. stallo MT con linea dedicata, raggruppamento delle linee MT per singola sbarra in funzione della tipologia, rialimentabilità, etc.), analizzando il contesto di rete dove la fornitura opera (area industriale, area rurale, etc) ed un'eventuale soluzione a maggior costo rispetto al minimo tecnico, concordata col cliente, per contenere i rischi di futuri disturbi alla fornitura;
- il coordinamento delle protezioni del Cliente con quelle del Distributore;

Il cliente può promuovere:

Una corretta progettazione, realizzazione, manutenzione e gestione degli impianti del Cliente in ottemperanza con le Norme di connessione (CEI 0-16 e CEI 0-21)

- adeguamento al disposto della CEI 0-16 per quanto riguarda le indicazioni relative ai sistemi di protezione (SPG) che agiscono sul dispositivo generale (DG)
- adeguamento al disposto della CEI 0-16 e CEI 0-21 per quanto riguarda le indicazioni relative ai sistemi di protezione (SPI) che agiscono sul dispositivo di interfaccia, nonché i requisiti dei generatori per gli utenti attivi
- una maggiore consapevolezza verso quelle attività che possono avere impatto sulla PQ (es controllo dei sistemi di irrigazione aerea)
- una maggior consapevolezza del contesto dove l'impianto si trova ad operare (area industriale, cittadino o rurale)



Figura 27 Problemathe legate all'irrigazione aerea



Figura 28 Cabina Utente con problematiche di scariche VS terra

Figura 29 Guasto di un terminale su una cabina utente

9.4 Use cases cliente sito in Campania

Di seguito si riporta l'analisi di un caso reale di eventi di buchi tensione verificatesi ad un utente MT collegato ad una sbarra di una Cabina Primaria presente sul territorio nazionale.

Tale caso studio è parte integrante del programma permanente di continuo monitoraggio e miglioramento della qualità della tensione della rete elettrica gestita da E-Distribuzione S.p.A..

L'obiettivo di queste analisi tecniche è trovare e mettere in atto interventi sulla rete, consistenti in variazione degli assetti di rete atti a migliorare la qualità della tensione

oppure interventi infrastrutturali di sistema funzionali al miglioramento della robustezza della rete, eventualmente esportabili anche in altre parti della rete, affette da problematiche simili.

E-Distribuzione S.p.A. ha in atto una continua registrazione degli eventi della rete, attraverso molteplici parametri suddivisi per componentistica e di sistema (ad esempio tensioni ai nodi, andamento delle correnti di carico e di guasto, manovre di apertura interruttori, interventi di protezioni). Tale registrazione eventi viene utilizzata sia come monitoraggio, sia come segnalazione propedeutica a eventuali manovre manuali, sia come analisi di sistema per i risvolti gestionali verso le istituzioni tecniche (ARERA).

Tutto ciò premesso, di seguito si descrivono le macro fasi operative che hanno portato alla scelta ed attuazione degli interventi di miglioramento.

Il primo passo consiste nel reperimento dei dati registrati di tutti gli eventi di scostamento della tensione dal valore nominale e la relativa durata dell'evento, classificabili come buchi di tensione ai sensi della classificazione indicata nella norma CEI EN 50160. Da tale prima analisi è possibile selezionare i buchi di tensione per i quali il distributore non può attuare alcun accorgimento migliorativo e per i quali è necessario che l'utente si "immunizzi" a propria cura, da quelle per i quali il distributore può avere un ruolo attivo nell'evitare il verificarsi del **buco di tensione**. L'analisi di E-Distribuzione S.p.A. prende atto della configurazione della rete interna dell'utente, e si concentra maggiormente sul secondo gruppo di buchi di tensione, per i quali può mettere in atto le conseguenti azioni correttive.

Nel caso in esame, a fronte dei numerosi buchi di tensione lamentati dell'utente MT, E-Distribuzione S.p.A. ha ritenuto opportuno modificare l'assetto di alimentazione dell'utente MT. Tale riassetto dell'alimentazione si è reso possibile attrezzando un feeder disponibile sui quadri MT alimentando una nuova porzione di sbarra in Cabina Primaria, dalla quale derivare l'alimentazione per il cliente considerato. Il riassetto è stato attuato tenendo conto della tipologia dei clienti sottesi a ciascuna linea (clienti industriali o residenziali in zona urbanizzata o rurale), nonché alla tipologia della linea stessa (aerea a conduttori nudi o cavo interrato).

Questo primo passo ha permesso pertanto di rendere più robusta la connessione dell'utenza, mitigando i buchi di tensione verificatisi ante operam.

Successivamente è stato attuato un ulteriore periodo di osservazione e registrazione dei dati, nonché di approfondita analisi della configurazione della rete, anche all'interno del cliente stesso.

A seguito di tale analisi è stata rilevata, una non ottimale configurazione della rete elettrica interna all'utente, sebbene contemplata dalla norma CEI 0-16, che consiste nella coincidenza di DG e DDI.

Le regolazioni da impostare su SPI, previste dalla Norma **CEI 0-16**, prevedono una minima tensione (27 V) con ritardo intenzionale pari a 200 ms e soglia di tensione pari al 30% Vn. Ne consegue che, qualora il Distributore ritardi la soglia di massima corrente 51.S3 (ad esempio per realizzare su altre linee afferenti la medesima sbarra la selettività caso 2 e caso 3 previste dalla Norma **CEI 0-16**), in caso di guasto polifa-

se sulla linea MT oggetto di tale intervento con profondità del buco superiore al 70% di Vn, si ha sempre la disconnessione dell'intero impianto di Utente, generazione e carico.

Tale situazione, considerato che la potenza di generazione è non inferiore alla potenza richiesta dai carichi interni, potrebbe essere quella ottimale per gestire l'impianto in isola e renderlo completamente immune ai buchi di tensione, ma solo se opportunamente progettato e gestito.

Sempre con riferimento alla **CEI 0-16**, tale impianto potrebbe essere fatto rientrare in quelli cosiddetti a limitato scambio di potenza, soluzione introdotta nella Norma in quanto adottata in quasi tutti gli ospedali dove sia presente generazione locale. Quando lo scambio di potenza al punto di connessione è ridotta, è attivo un SPI (od un banco di regolazioni di un SPI con più banchi commutabili) con regolazioni "strette", che permette all'impianto di andare in isola rapidamente, carico e generazione locale, riducendo gli effetti del transitorio e non dando disturbi sulla rete esterna a seguito della disconnessione, quando lo scambio è elevato, ad esempio in caso di funzionamento parziale della generazione locale, risulta attivo un SPI (od un banco di regolazioni di un SPI a più banchi), conforme alle regolazioni standard previste dalla **CEI 0-16**.

La presenza di gruppi sincroni sarebbe anche la condizione ottimale per consentire all'impianto di utente di andare in isola permettendo ai carichi di continuare a funzionare, purché siano previsti degli opportuni accorgimenti.

Nel caso specifico la presenza di un collegamento diretto dell'impianto Utente alla linea al distributore non consente il passaggio in isola senza la fermata dell'impianto, sia carichi che generazione locale.

Come illustrato nelle figure seguenti, è possibile dimensionare ed installare una reattanza in serie ai gruppi di generazione lato cliente. Tale soluzione impiantistica, in caso di corto circuito in rete, rende più profondo il **buco di tensione** lato rete, per la riduzione del sostegno da parte della generazione locale che vede il guasto elettricamente "lontano", rende più basso il contributo alla corrente di corto circuito in rete da parte della generazione locale, per via dell'impedenza interposta dalla reattanza, ma, d'altro canto, determina una minore perturbazione della tensione lato cliente (a monte della reattanza rispetto alla posizione della generazione locale); il contributo al cortocircuito della generazione locale rimane minore in assoluto, ma il sostegno alla tensione che fornisce lato utente (a monte reattanza di disaccoppiamento rispetto alla generazione locale) è maggiore che senza la presenza della reattanza interposta.

Il dimensionamento della reattanza è da effettuare con una certa attenzione, trovando il migliore compromesso. Infatti:

- un valore elevato della reattanza disaccoppia notevolmente l'impianto utente dalla rete, ma, una volta eliminato il guasto, con durata del **buco di tensione** dell'ordine dei 340 ms ÷ 380 ms, i generatori sincroni molto probabilmente andranno fuori passo e si disconnetteranno per effetto della protezione specifica (out of step), per evitare danni ai generatori ed alle relative prime movers. Questo per la ridotta P_{cc} ai morsetti dei generatori;

- un valore basso garantisce di evitare la perdita di passo dei sincroni una volta eliminato il guasto (ed il BdT), per la P_{cc} di valore elevato, ma riduce il disaccoppiamento e quindi l'immunità dell'impianto utente ai BdT stessi.

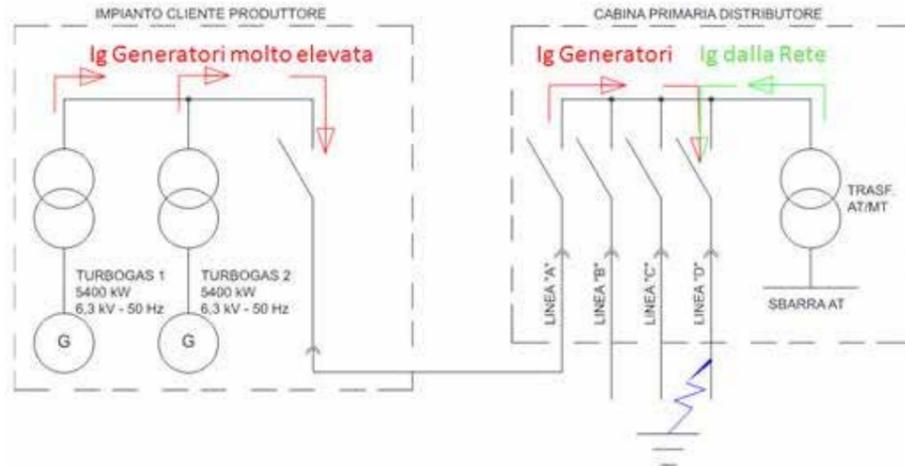


Figura 30 Schema di impianto senza reattanza di disaccoppiamento

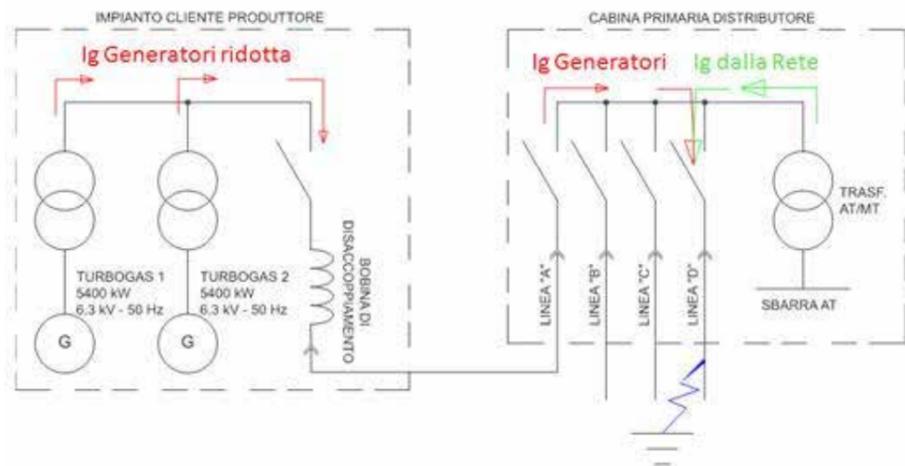


Figura 31 Schema di impianto con reattanza di disaccoppiamento

Dei restanti buchi di tensione si sono evidenziati, lato Distributore:

- eventi per i quali si riscontra un non corretto coordinamento delle protezioni;
- eventi per i quali è opportuno un riposizionamento e/o inibizione di componentistica utilizzata in rete lato Distributore, al fine di venire incontro alle nuove esigenze di rete;
- infine scatti anomali e durate di buchi di tensione anomali dovuti essenzialmente ad errori di registrazione o errori sistemici dei componenti impiegati.

Tralasciando quest'ultimo punto, poiché dovuto a casualità intrinseche nella componentistica e nel sistema di registrazione dati del tutto normale considerando un così largo numero di eventi analizzati, per i restanti due punti è in corso una campagna continua e periodica di revisione delle tarature delle linee e, se necessario, anche di utilizzo o inibizione al funzionamento o spostamento della componentistica di manovra in linea, il tutto finalizzato alla mitigazione dei buchi di tensioni.

e-distribuzione