



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Introduzione alla Power Quality

Gruppo Misure DIEE - UniCa



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Sommario

INTRODUZIONE	4
SEGNALI IDEALI	6
SEGNALI REALI	10
Termini e Definizioni	11
- Disturbo condotto	11
- Tensione di alimentazione dichiarata, <i>Uc</i>	11
- Flicker	11
- Severità del flicker	12
- Frequenza della tensione di alimentazione	12
- Tensione armonica	12
- Alta tensione, AT	13
- Tensione interarmonica	13
- Bassa tensione, BT	13
- Segnali trasmessi sulla rete di alimentazione	13
- Media tensione, MT	14
- Utente della rete	14
- Operatore della rete di distribuzione	14
- Frequenza nominale	14
- Condizione di esercizio normale	15
- Tensione nominale, <i>Un</i>	15
- Variazione rapida della tensione	15
- Tensione di riferimento (per la valutazione delle interruzioni, dei buchi di tensione e delle sovrالعlevazioni di tensione)	16
- Interruzione dell'alimentazione	16
- Terminale di fornitura	17
- Tensione di alimentazione	17
- Sovratensione transitoria	17
- Buco di tensione	17



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

- Durata del buco di tensione.....	18
- Soglia di fine del buco di tensione.....	18
-Tensione residua del buco di tensione.....	19
-Fluttuazione di tensione.....	19
-Sovraelevazione di tensione.....	19
-Durata della sovravelevazione di tensione.....	20
-Soglia di fine della sovravelevazione di tensione.....	20
-Soglia di inizio della sovravelevazione di tensione.....	20
-Squilibrio di tensione.....	20
-Variazione della tensione.....	20
Rappresentazioni grafiche dei fenomeni considerati.....	21
CONSEGUENZE DI SCARSA POWER QUALITY.....	27



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

INTRODUZIONE

Nei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica si stanno verificando profondi mutamenti dovuti a diversi fattori socio-economici o tecnologici, quali, fra gli altri, la liberalizzazione del mercato dell'energia e la crescente diffusione di impianti di "generazione distribuita", cioè impianti di produzione di piccola taglia, talvolta alimentati da fonti rinnovabili, collocati in diversi punti della rete.

Questi cambiamenti, accompagnati dalla sempre maggiore diffusione di apparecchiature elettroniche che assorbono correnti non lineari, comportano una sempre più persistente presenza di disturbi sulla rete elettrica che impattano sulle funzionalità e la vita utile delle stesse apparecchiature elettroniche e quindi sugli utenti finali. Questi disturbi compromettono la qualità della fornitura, la cosiddetta *Power Quality*.

La necessità di monitorare la qualità della fornitura è fortemente avvertita sia da parte delle società distributrici di energia elettrica che da parte degli enti di controllo e degli utenti: vi è infatti la necessità da un lato di fornire, nei punti di consegna, tensioni con caratteristiche conformi a quanto stabilito dalla normativa in vigore (in particolare dalle norme IEC della serie 61000 e dalla Norma CEI EN 50160, che fissa i limiti e le tolleranze ammesse di alcuni parametri critici, come l'ampiezza della forma d'onda, la frequenza, il grado di distorsione, la dissimmetria nei sistemi trifase, il flicker, ecc.) e dall'altro di disporre di informazioni attendibili circa la qualità dell'energia elettrica fornita allo scopo di operare correttamente le funzioni di controllo.

La *Power Quality* può quindi essere considerata da due punti di vista: utente e fornitore.

L'utente richiede una tensione di alimentazione quanto più possibile vicina ad una condizione di idealità; in questo caso si parla di *qualità della tensione*. Il fornitore ha bisogno che gli utenti assorbano correnti elettriche vicine da una condizione di idealità; in questo caso si parla di *qualità della corrente (o del carico)*.

Si può quindi sottolineare che la qualità della corrente assorbita da un carico non dipende solamente dalla tensione di alimentazione ma anche dalla natura dello stesso e dai mezzi coi quali questo si interfaccia alla rete. Allo stesso modo, non è detto che la distorsione della tensione di alimentazione su un carico abbia origine esclusivamente dalla rete di



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

distribuzione: può essere dovuta a uno o più carichi distorcanti interni al sistema derivato. La *Power Quality* è il risultato quindi della combinazione di *qualità della tensione* e *qualità della corrente*. L'accresciuta sensibilità di molti utenti nei confronti dei disturbi presenti nella tensione di alimentazione ha portato una notevole attenzione verso tutte le azioni volte a monitorare, qualificare e quantificare i disturbi presenti nelle reti elettriche di potenza.

Le caratteristiche che si possono riscontrare nella fornitura sono descritte, in particolare, nella Norma CEI EN 50160 "Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica".

La Norma definisce, descrive e specifica le caratteristiche principali della tensione ai terminali di alimentazione di un utente della rete pubblica in bassa, media e alta tensione in corrente alternata, in normali condizioni di esercizio. Essa descrive i limiti o valori entro i quali le caratteristiche della tensione possono essere attesi ai punti di alimentazione da reti elettriche pubbliche europee.

I metodi di misura applicati nella Norma CEI EN 50160 sono descritti nella Norma EN 61000-4-30, Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 4-30: Tecniche di prova e misura - Metodi di misura della qualità dell'alimentazione elettrica.

Norma di riferimento è anche, tra le altre, la CEI EN 61000-3-3, 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.

Le caratteristiche della tensione di alimentazione riguardano principalmente la:

- a) frequenza;
- b) ampiezza;
- c) forma d'onda;
- d) simmetria delle tensioni di linea.

Queste caratteristiche sono soggette a variazioni durante il normale esercizio di un sistema di alimentazione a seguito di variazioni di carico, di disturbi generati da determinate apparecchiature e del verificarsi di guasti che sono principalmente causati da eventi esterni.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Le caratteristiche variano in modo casuale sia nel tempo, con riferimento ad uno specifico terminale di consegna, sia alla posizione, con riferimento a qualunque istante dato. Per queste variazioni, ci si può aspettare il superamento dei livelli delle caratteristiche in un ridotto numero di occasioni.

SEGNALI IDEALI

La tensione di alimentazione ideale è un segnale **sinusoidale**, di frequenza pari a **50 Hz** (che significa 50 oscillazioni al secondo - numero di ripetizioni della componente fondamentale misurato in un dato intervallo di tempo), di **valore efficace** pari a quello **nominale** stabilito dalle norme.

Per un segnale sinusoidale ideale, si veda fig. 1, il valore efficace nominale è vincolato all'ampiezza di picco nominale da un fattore di forma noto.

La **corrente ideale** assorbita dall'utente è una **sinusoide**, alla **stessa frequenza della tensione di alimentazione**, possibilmente **in fase con la tensione di alimentazione**, si veda in proposito la fig. 2.

La potenza scambiata fra rete e il carico è il prodotto istante per istante fra la tensione di alimentazione e la corrente assorbita, e, nelle condizioni di carico resistivo ideale (illustrato in fig. 2), ha l'andamento mostrato in fig. 3 e come valore medio la potenza attiva: $\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot \hat{V} \cdot \hat{I}$ [W].



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

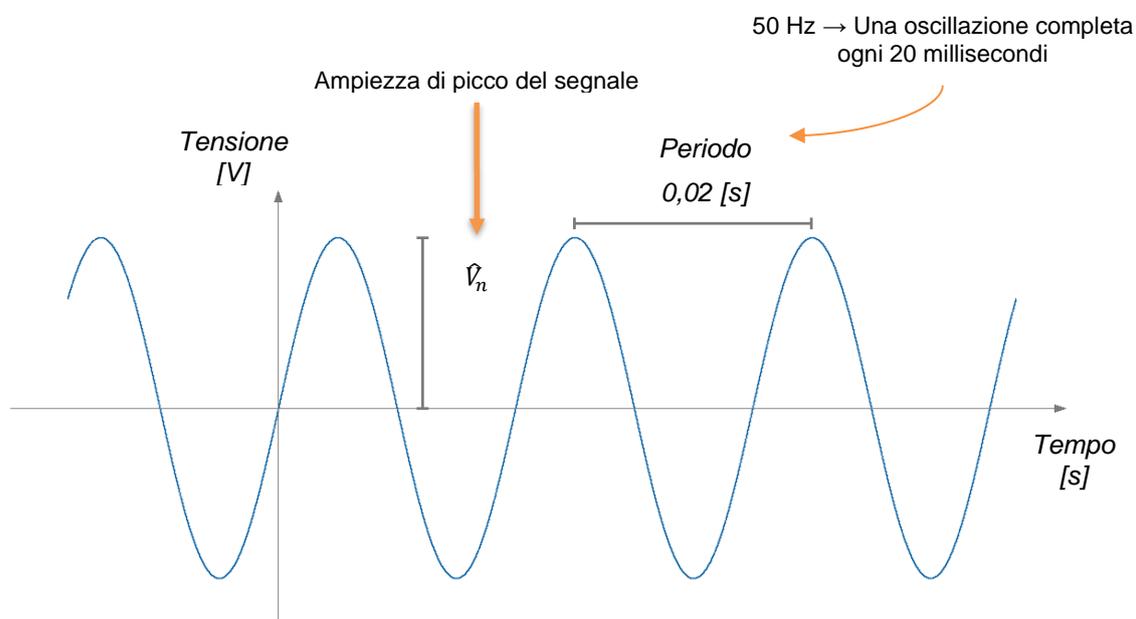


Figura 1: Segnale ideale di tensione

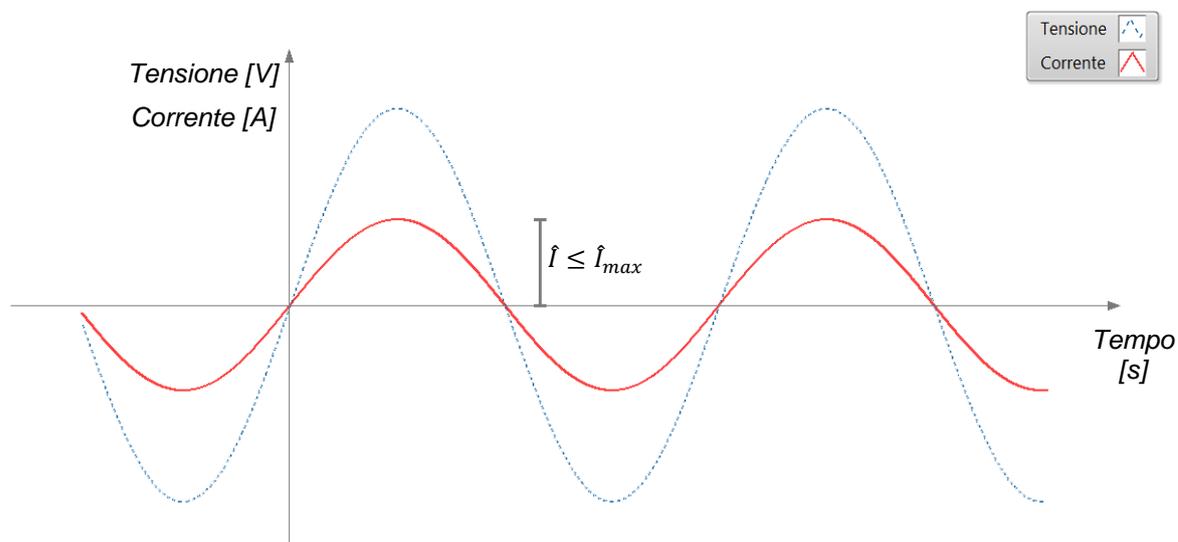


Figura 2: Tensione e corrente ideali



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

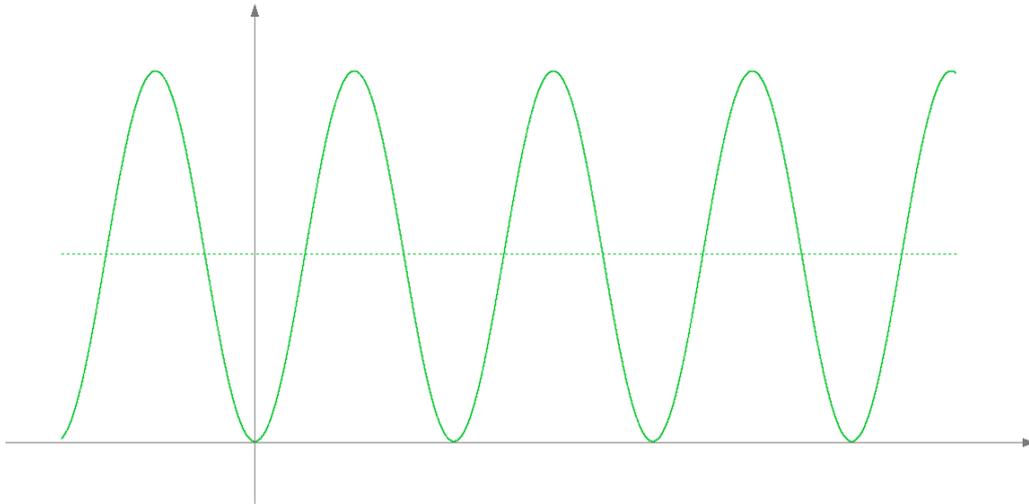


Figura 3: Potenza istantanea - riferimento alla figura 2

Il trasporto di energia avviene principalmente tramite reti trifase. La **terna** di alimentazione è ideale se, oltre alle condizioni già citate, è anche:

simmetrica

Le tre tensioni sono ugualmente sfasate l'una

equilibrata.

Le tre tensioni hanno lo stesso valore efficace

Considerato che una corrente ideale segue l'andamento della tensione, le stesse condizioni risultano vincolanti anche per una terna ideale di correnti assorbite.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

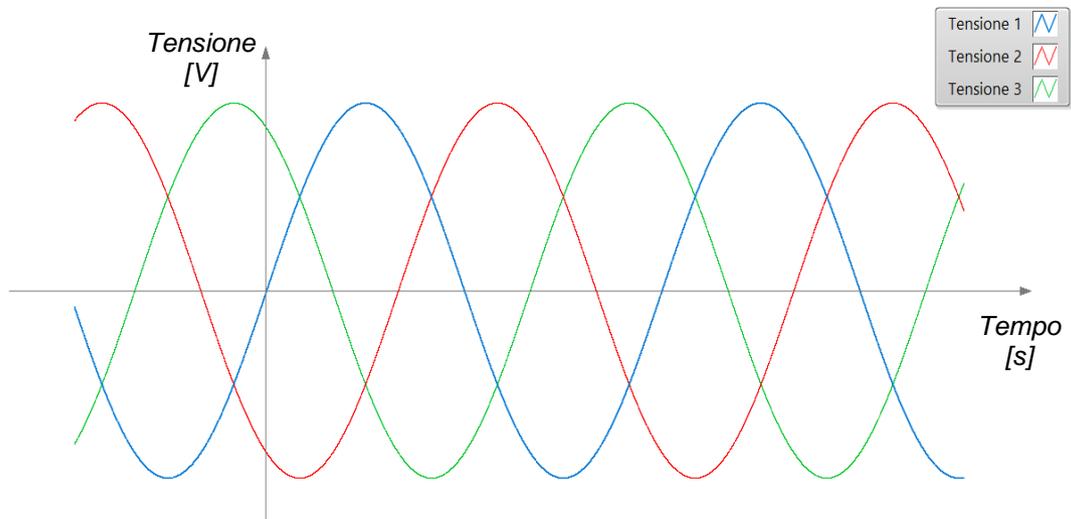


Figura 4: Terna ideale di tensioni



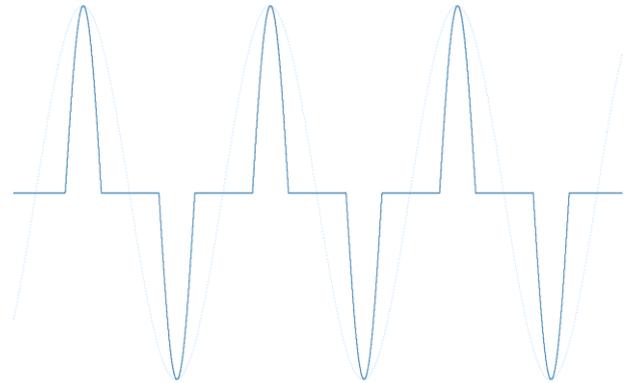
**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

SEGNALI REALI

In condizioni di non idealità un segnale di tensione o corrente può avere una forma molto diversa da quella ideale

L'ampiezza massima del segnale non è rappresentativa del suo contenuto energetico

Si parlerà di un "valore efficace" (RMS), non correlato all'ampiezza di picco tramite fattore di forma



Gli eventi che possono compromettere la qualità dell'energia possono essere detti: **"fenomeni di Power Quality"**

Variazioni del valore RMS della tensione

Variazioni della frequenza

Variazioni della forma d'onda

Squilibri nel sistema trifase



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Termini e Definizioni

- **Disturbo condotto**

3.1, 50160 - 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.

- **Tensione di alimentazione dichiarata, U_c**

3.2, 50160 -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**

3.3, 50160 -impressione d'instabilità della percezione visiva indotta da uno stimolo luminoso la cui luminanza o la cui distribuzione spettrale fluttua nel tempo [IEV 161-08-13]

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.

Un'altra definizione si trova nella 61000-3-3: impressione di instabilità della sensazione visiva, provocata da uno stimolo luminoso la cui luminanza o distribuzione spettrale fluttua nel tempo [IEC 60050-161:1990, 161-08-13]



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

- Severità del flicker

3.4, 50160 -intensità di disturbo del flicker valutata mediante le seguenti quantità:

- severità di breve durata (Pst) misurata in un intervallo di dieci minuti;
- severità di lunga durata (Plt) calcolata a partire da una sequenza di dodici valori di Pst 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

3.5, 50160 -numero di ripetizioni della componente fondamentale della tensione di alimentazione, misurato in un dato intervallo di tempo

- Tensione armonica

3.6, 50160 -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:

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



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

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.

- Alta tensione, AT

3.7, 50160 -tensione il cui valore efficace nominale è $36 \text{ kV} < U_n \leq 150 \text{ kV}$

NOTA A causa di strutture di reti esistenti, in alcuni paesi il confine tra MT e AT può essere diverso.

- Tensione interarmonica

3.8, 50160 -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.

- Bassa tensione, BT

3.9, 50160 -tensione il cui valore efficace nominale è $U_n \leq 1 \text{ kV}$

- Segnali trasmessi sulla rete di alimentazione

3.10, 50160 -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:



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

- segnali a controllo di ondulazione d’onda: segnali di tensione sinusoidale sovrapposti nell’intervallo di frequenza da 110 Hz a 3000 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.

- Media tensione, MT

3.11, 50160 -tensione il cui valore efficace nominale è $1 \text{ kV} < U_n \leq 36 \text{ kV}$

NOTA A causa di strutture di reti esistenti, in alcuni paesi il confine tra MT e AT può essere diverso.

- Utente della rete

3.12, 50160 -parte alimentata o che si alimenta da una rete di distribuzione di energia elettrica

NOTA In molti paesi, il termine utente della rete include i gestori della rete collegati ad una rete di alimentazione con lo stesso livello o un livello superiore di tensione.

- Operatore della rete di distribuzione

3.13, 50160 -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

- Frequenza nominale

3.14, 50160 -valore nominale della frequenza della tensione di alimentazione



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

- Condizione di esercizio normale

3.15, 50160 -condizione di esercizio per una rete elettrica, nella quale vengono soddisfatte le richieste di carico e di generazione, vengono eseguite le operazioni di manovra del sistema e vengono eliminati i guasti con sistemi di protezione automatici, in assenza di circostanze eccezionali, cioè:

- a) condizioni di esercizio provvisorie;
- b) in caso di non conformità di un impianto o di un'apparecchiatura di un utente della rete alle relative norme o alle prescrizioni tecniche di connessione;
- c) situazioni eccezionali, quali:
 - 1) condizioni climatiche eccezionali e altri disastri naturali;
 - 2) interferenze da parte di terzi;
 - 3) atti dell'autorità pubblica;
 - 4) manifestazioni sindacali (soggette a obblighi legali);
 - 5) forza maggiore;
 - 6) calo di potenza dovuto ad eventi esterni.

- Tensione nominale, Un

3.16, 50160 -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

3.17, 50160 -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.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

- Tensione di riferimento (per la valutazione delle interruzioni, dei buchi di tensione e delle sovraelevazioni di tensione)

3.18, 50160 -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

3.19, 50160 -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:

- a) programmata, quando gli utenti della rete sono stati precedentemente avvertiti; o
- b) 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:

- 1) interruzione lunga (maggiore di 3 minuti);
- 2) interruzione breve (fino a 3 min compreso).

NOTA 2 Generalmente, le interruzioni sono causate dall'intervento di 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).



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

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

- Terminale di fornitura

3.20, 50160 -punto in una rete di alimentazione pubblica designato come tale e fissato contrattualmente, in cui l'energia elettrica è scambiata tra i partner del contratto

NOTA Questo punto può differire, per es., dal punto di misura dell'elettricità o dal punto di accoppiamento comune.

-Tensione di alimentazione

3.21, 50160 -valore efficace della tensione in un dato istante ai terminali di fornitura, misurato in un intervallo assegnato

- Sovratensione transitoria

3.22, 50160 -sovratensione oscillatoria o non oscillatoria di breve durata di solito molto smorzata e con durata di pochi millisecondi o inferiore [IEV 604-03-13 modificata]

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

3.23, 50160 -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.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

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

3.24, 50160 -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.

Terna, Guida tecnica 2018: riduzione temporanea della tensione di alimentazione ad un valore compreso tra il 90% e il 5% della tensione dichiarata Uc. Convenzionalmente la durata del buco di tensione è compresa tra 10 ms e 60 secondi; il buco di tensione può interessare una o più fasi ed è denominato unipolare, bipolare o tripolare se rispettivamente interessa una, due o tre fasi.

La profondità di un buco di tensione è definita come differenza tra il valore efficace della tensione minima durante il buco e la tensione dichiarata. Le variazioni di tensione che non riducono la tensione a meno del 90% della tensione Uc non sono considerati buchi.

La durata di un buco di tensione è la differenza temporale tra l'istante di inizio della diminuzione della tensione e l'istante nel quale la stessa tensione ritorna entro i limiti.

- Soglia di fine del buco di tensione

3.25, 50160 -valore efficace della tensione in un sistema di alimentazione elettrica con lo scopo di definire la fine di un buco di tensione



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

-Tensione residua del buco di tensione

3.26, 50160 -valore minimo della tensione efficace registrato durante un buco di tensione

NOTA Ai fini della presente Norma, la tensione residua è espressa in percentuale della tensione di riferimento.

-Soglia di inizio del buco di tensione

3.27, 50160 -valore efficace della tensione in un sistema di alimentazione elettrica specificato allo scopo di definire l'inizio di un buco di tensione

-Fluttuazione di tensione

3.28, 50160 -serie di variazioni di tensione o variazione ciclica dell'involuppo di tensione [IEV 161-08-05]

-Sovraelevazione di tensione

sovratensione temporanea a frequenza di rete

3.29, 50160 -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 sovraelevazione 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 sovraelevazione di tensione è un disturbo elettromagnetico a due dimensioni, il cui livello è determinato sia dalla tensione che dal tempo (durata).

NOTA 3 Le sovraelevazioni di tensione possono apparire tra le fasi o tra le fasi e terra. A seconda dell'assetto del neutro, i guasti verso terra possono dare luogo anche a sovratensioni tra le fasi sane e il neutro.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

-Durata della sovraelevazione di tensione

3.30, 50160 -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.

-Soglia di fine della sovraelevazione di tensione

3.31, 50160 -valore efficace della tensione in un sistema di alimentazione elettrica specificato allo scopo di definire la fine di una sovraelevazione di tensione

-Soglia di inizio della sovraelevazione di tensione

3.32, 50160- valore efficace della tensione di un sistema di alimentazione elettrica specificato allo scopo di definire l'inizio di una sovraelevazione di tensione

-Squilibrio di tensione

3.33, 50160- 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 [IEV 161-08-09, modificata]

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

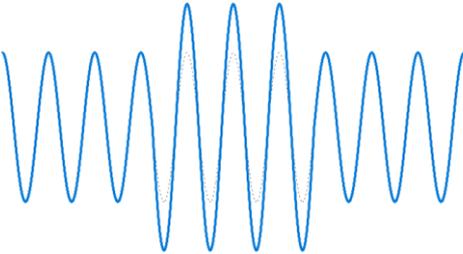
3.34, 50160- aumento o diminuzione della tensione efficace normalmente provocato dalle variazioni del carico



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Rappresentazioni grafiche dei fenomeni considerati

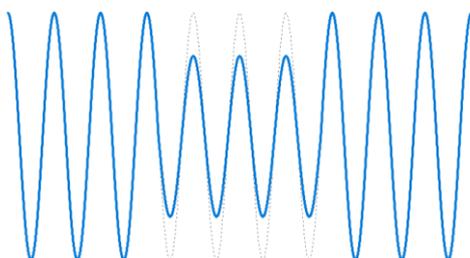
Di seguito si riportano delle descrizioni alternative dei fenomeni in esame supportate da intervalli di variazione e rappresentazioni grafiche

Variazioni del valore RMS della tensione	Variazioni in condizioni nominali: Sono variazioni comprese generalmente fra il 90% e il 110% del valore nominale, abbastanza lente da poter continuare a considerare il segnale stazionario; sono dovute alle normali condizioni di esercizio della rete.
	Sovratensioni  Quando il valore efficace della tensione in un nodo è superiore al 110% di quello nominale si ha una sovratensione. Le sovratensioni sono fenomeni causati da temporanee condizioni anomale, che possono essere naturali, come la caduta di un fulmine in prossimità di una linea aerea, o artificiali, come il guasto di un conduttore o una rapida riduzione della potenza assorbita dai carichi.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

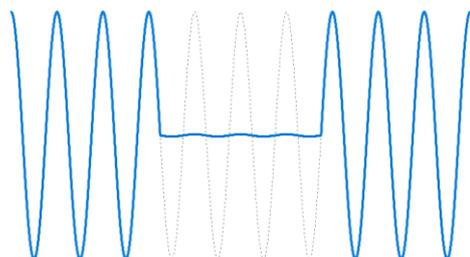
Buchi di tensione



Quando il valore efficace della tensione in un nodo è compreso fra il 90% e l'5% di quello nominale si ha un buco di tensione.

I buchi di tensione sono solitamente dovuti a transitori di avviamento di grossi carichi oppure, come le sovratensioni, a guasti.

Interruzioni

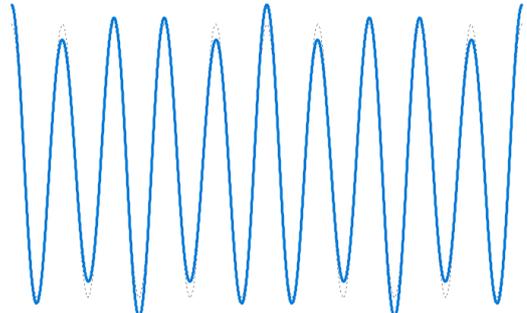


Quando il valore efficace della tensione scende al di sotto di una certa soglia (ad esempio sotto il 5 o il 10% di quello nominale) si ha una interruzione.

Le interruzioni sono prevalentemente fenomeni transitori che hanno origine in seguito all'intervento delle protezioni in risposta ai guasti o ad altri eventi considerati pericolosi per le persone, la rete, o le



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

	<p>apparecchiature; possono essere brevi, quindi di durata inferiore al minuto, o lunghe, di durata superiore al minuto.</p> <hr/> <p>Fluttuazioni del valore RMS</p>  <p>Come nel caso di funzionamento in condizioni normali, il valore efficace rimane fra il 90% e il 110% di quello nominale, ma le oscillazioni sono abbastanza frequenti da non poter più considerare il segnale come stazionario.</p> <p>È un fenomeno di carattere approssimativamente periodico originato soprattutto dall'inserzione e disinserzione di carichi intermittenti.</p>
--	--

<p>Variazioni della frequenza</p>	<p>La frequenza della tensione è la stessa in qualsiasi punto di una rete elettrica (frequenza di rete); una eventuale differenza della frequenza misurata rispetto a quella nominale è causata dallo squilibrio fra produzione e domanda, che può essere compensato mediante azioni correttive al livello di generazione.</p>
--	--

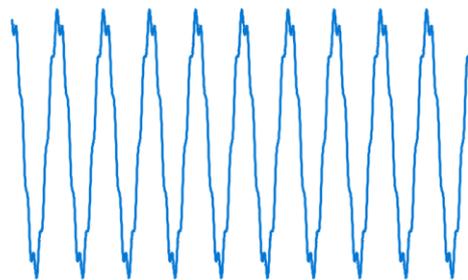


**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

**Variazioni
della forma
d'onda**

I segnali di tensione e di corrente perdono la loro ideale forma d'onda sinusoidale.

Distorsione armonica

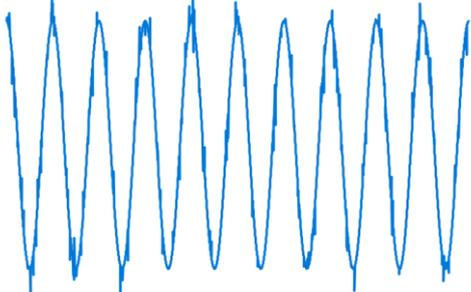
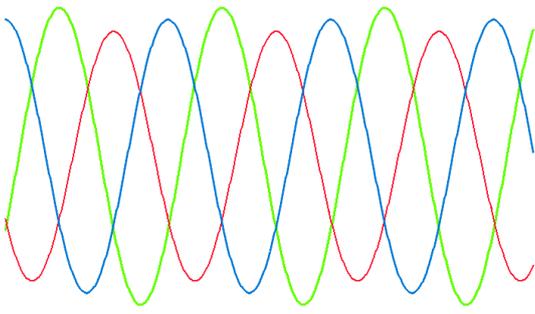


La perdita di forma è dovuta alla presenza di ulteriori componenti sinusoidali a frequenze multiple di 50 Hz. In caso di distorsione armonica, il segnale distorto rimane di carattere periodico, perché i disturbi si ripetono uguali su ogni periodo. Per la propria natura, un carico non lineare o un carico tempo-variante assorbe corrente distorta, determinando eventualmente tensioni di alimentazione distorte sugli altri carichi collegati in parallelo.

L'indice usato per quantificare la distorsione armonica di un segnale di tensione o corrente è il **THD (Total Harmonic Distorsion)**, espresso solitamente in percentuale.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

	<p>Disturbi aperiodici</p>  <p>Se i disturbi non si ripetono uguali su ogni periodo allora il segnale non è più periodico, ma si potrebbe dire al massimo “semi-periodico”.</p>
<p>Squilibri nel sistema trifase</p>	<p>Squilibrio della terna delle tensioni</p>  <p>Come conseguenza dell'assorbimento di corrente da parte di carichi sbilanciati (carichi diversi su ogni fase), accade che la terna di alimentazione su altri carichi vicini sia anch'essa sbilanciata.</p>



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Un'altra condizione di non idealità che, pur non riguardando propriamente la Power Quality, rimane da tenere sotto controllo è lo **sfasamento fra tensione e corrente**; la cui entità dipenda dai carichi e dai mezzi di interfaccia con la rete.

Lo sfasamento comporta una minore potenza media scambiata a parità di corrente in circolazione, quindi a parità di peso sulla rete elettrica.

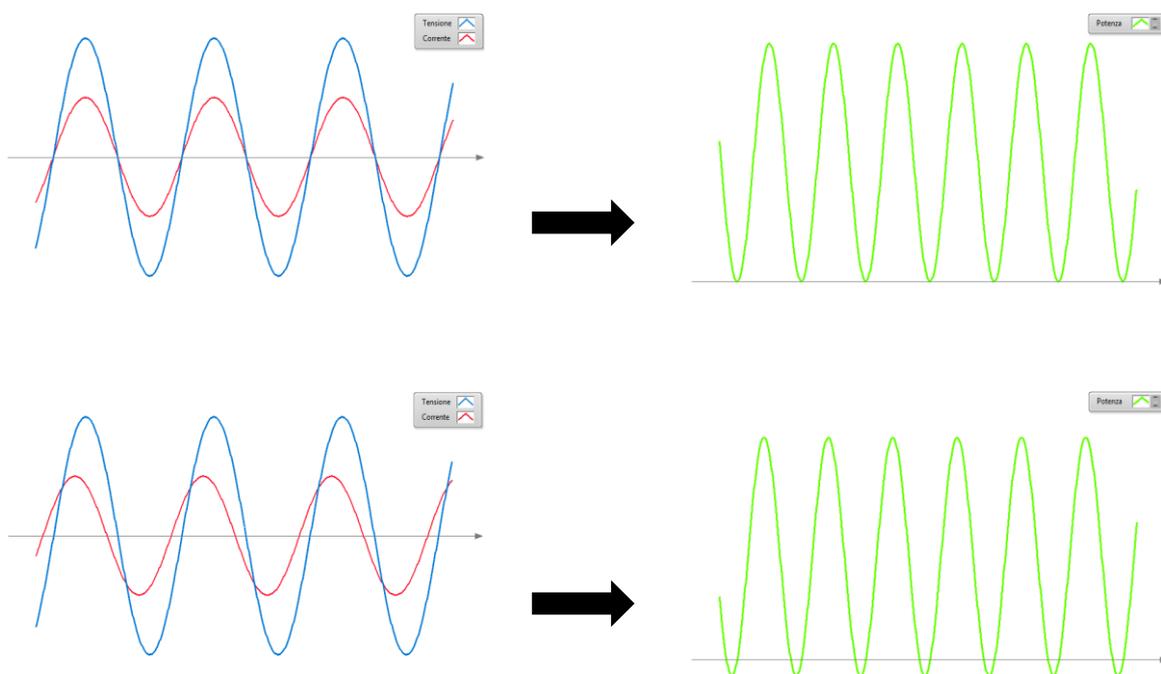


Figura 5: Esempi di sfasamenti tra le forme d'onda di tensione e corrente

Per questo motivo l'indice dello sfasamento è detto **Fattore di potenza** o **Power Factor (PF)**, ed è un numero compreso fra 0 e 1.

- $PF = 1 \rightarrow$ la corrente è in fase con la tensione e la potenza media è massima
- $PF = 0 \rightarrow$ lo sfasamento è massimo e la potenza media è nulla

Normalmente il costo dell'energia dipende dalla potenza media assorbita



Gli utenti dai 16,5 kW di potenza pagano anche il carico aggiuntivo che lo sfasamento comporta sulla rete; ciò accade sotto forma di penali che si applicano nel momento in cui l'utente non provvede a mantenere il PF maggiore di 0,95



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

CONSEGUENZE DI SCARSA POWER QUALITY

Secondo lo standard EN 50160 per la media e la bassa tensione per quasi la totalità del tempo la tensione di alimentazione non si discosta eccessivamente dalla nominale, per frequenza, valore efficace e forma d'onda.

Le apparecchiature sono dimensionate per funzionare correttamente se alimentate da una tensione con caratteristiche prossime alle nominali.

In presenza di un qualsiasi fenomeno di Power Quality le apparecchiature hanno rendimento inferiore e sono maggiormente esposte a malfunzionamenti e guasti.

Dipendentemente dal tipo di carico si potrebbero verificare diversi inconvenienti in seguito a fenomeni di Power Quality.

A titolo di esempio sono riportati i fenomeni di:

Surriscaldamento dei circuiti elettrici e magnetici

Le componenti indesiderate di corrente legate a **sovratensioni**, **inquinamento armonico** e **squilibri trifase** sono causa di ulteriori perdite per effetto Joule, quindi surriscaldamento dei conduttori e conseguente deterioramento dell'isolamento e dell'apparato dentro il quale è inserito il circuito.

Lo stesso ragionamento è valido se si parla di circuiti magnetici (come quelli per i trasformatori e i motori elettrici), in cui ad aumentare sono le perdite per correnti parassite nel nucleo magnetico, aggravate alle alte frequenze.



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

Malfunzionamenti delle apparecchiature elettroniche

Negli apparati elettronici si potrebbero avere malfunzionamenti derivanti da **sovratensioni, buchi di tensione, distorsioni dell'alimentazione e variazioni della frequenza.**

Se questi disturbi sono di entità relativamente elevata o gli apparecchi sono particolarmente sensibili, si può verificare il guasto.

Sfarfallio dell'illuminazione

Negli impianti di illuminazione le **fluttuazioni della tensione** comportano un fenomeno visivamente fastidioso per l'occhio umano, noto come *light flicker*, che consiste in rapide oscillazioni dell'intensità luminosa.

Oltre ai costi direttamente collegati allo scarso rendimento di un apparato e a quelli necessari per effettuare la sostituzione in caso di rottura, ci sono anche le perdite per inattività, la cui gravità dipende dalla durata, dalla ripetitività e dal fatto che il prodotto del processo interrotto sia o meno richiesto continuativamente, come nel caso dell'energia elettrica stessa.

Uno stato di fermo dovuto a un guasto ha durate molto variabili, mentre potrebbe essere relativamente breve e raro se avesse come unica causa scatenante l'interruzione e se, una volta ripristinata l'alimentazione, l'apparato coinvolto fosse in grado di riportarsi rapidamente a pieno regime; tuttavia, esistono situazioni in cui è sufficiente un buco di tensione per innescare l'arresto dell'apparato/impianto o in cui la ripresa completa dell'attività richiede tempi lunghi e/o operazioni complesse.