



QUALITÀ DELLA TENSIONE: BUCHI DI TENSIONE E ALTRE ANOMALIE

L'IMPORTANZA DEL POWER QUALITY

MAGGIORI PROBLEMATICHE DELLA TENSIONE

- Distorsione armonica
- Variazioni di frequenza
- Sovratensioni transitorie (spike)
- Interruzione dell'alimentazione
- Sovraelevazione di tensione
- Buco di tensione (sag)

MISURA E VALUTAZIONE DEI BUCHI DI TENSIONE

IMMUNITÀ DELLE APPARECCHIATURE AI BUCHI DI TENSIONE

CAUSE DEI BUCHI DI TENSIONE

IMPATTI SUI PROCESSI PRODUTTIVI

L'IMPORTANZA DEL POWER QUALITY

L'industria moderna sta diventando sempre più automatizzata e la sensibilità dei processi industriali alle problematiche di Power Quality è in continuo aumento.

Nel punto di connessione alla rete, l'energia prelevata, pur nell'ambito delle prescrizioni normative, può non essere ottimale all'utilizzo. Acquistiamo l'energia senza poterne negoziare la qualità che ci serve.

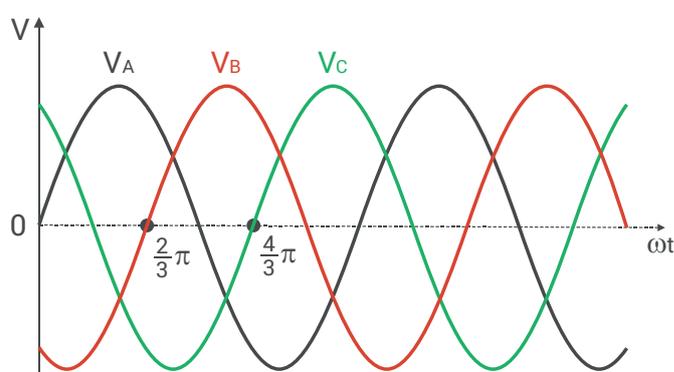
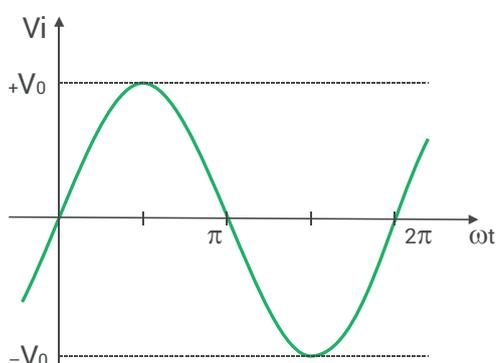
Prezzo e qualità dell'energia sono spesso aspetti complementari; insieme definiscono il valore attribuito al consumo di energia elettrica.

Le problematiche di Power Quality possono provocare problemi e danneggiamenti alle apparecchiature, fino a interrompere il ciclo produttivo nei casi più gravi.

Esempi di costi dovuti ad un basso Power Quality sono:

- Costi per personale improduttivo causati dalla discontinuità del ciclo di lavorazione.
- Costi per materie prime irrimediabilmente perse.
- Costi per lavoro incompleto o andato comunque perso.
- Costi per danni e/o malfunzionamento dei macchinari (riparazione, noleggio temporaneo).
- Penalità causate da conseguenti inadempienze contrattuali.
- Sanzioni per danni all'ambiente.
- Aumento dei costi generali di assicurazione.

La tensione trifase ricevuta dalla rete di alimentazione, idealmente dovrebbe essere equilibrata, simmetrica, sinusoidale, con frequenza costante e valore efficace costante.



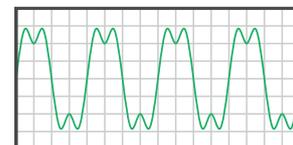
In pratica la tensione non è mai perfetta.

Le principali problematiche della tensione sono descritte e definite nella norma CEI EN50160.

MAGGIORI PROBLEMATICHE DELLA TENSIONE

Distorsione armonica

Si parla di distorsione armonica della tensione quando la sua forma d'onda non è sinusoidale, e può essere considerata come la risultante della sinusoide a 50Hz a cui si sovrappongono una o più tensioni armoniche, la cui frequenza è un multiplo intero della frequenza fondamentale della tensione di alimentazione. 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:

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

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.

In condizioni normali di esercizio, durante ciascun periodo di una settimana, il 95% dei valori efficaci di ogni singola tensione armonica, mediati sui 10 min, deve essere inferiore o uguale ai valori indicati nella tabella. Le risonanze possono causare tensioni più elevate per una singola armonica.

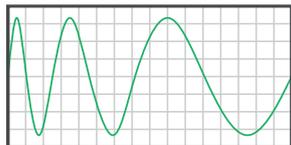
Inoltre, la distorsione armonica totale (THD) della tensione di alimentazione (comprese tutte le armoniche fino al 40° ordine) deve essere inferiore o uguale all'8%.

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

Armoniche dispari				Armoniche pari	
Non multiple di 3		Multiple di 3			
Ordine [h]	Ampiezza relativa [uh]	Ordine [h]	Ampiezza relativa [uh]	Ordine [h]	Ampiezza relativa [uh]
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%				

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.

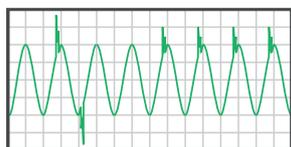
Variazioni di frequenza



La frequenza nominale della tensione fornita deve essere di 50 Hz. In condizioni normali di esercizio il valore medio della frequenza fondamentale misurato in un intervallo di 10 s deve essere compreso nell'intervallo:

- per i sistemi con collegamento sincrono ad un sistema interconnesso:
 - 50 Hz \pm 1 % (cioè 49,5 Hz... 50,5 Hz) durante il 99,5 % di un anno;
 - 50 Hz + 4 % / - 6 % (cioè 47 Hz... 52 Hz) durante il 100 % del tempo;
- per i sistemi senza collegamento sincrono ad un sistema interconnesso (per es. sistemi di alimentazione di talune isole):
 - 50 Hz \pm 2 % (cioè 49 Hz... 51 Hz) durante il 95 % di una settimana;
 - 50 Hz \pm 15 % (cioè 42,5 Hz... 57,5 Hz) durante il 100 % del tempo.

Sovratensioni transitorie (spike)



Le sovratensioni transitorie ai terminali di alimentazione sono generalmente causate da fulminazioni (sovratensioni indotte) o da manovre nel sistema (ad esempio inserzione/disinserzione di grossi banchi di rifasamento MT o AT).

Il tempo di salita può coprire un ampio intervallo, dai millisecondi fino a meno di un microsecondo. Tuttavia, per motivi fisici, i transitori di durate maggiori in genere hanno ampiezze molto minori. Pertanto, la coincidenza di ampiezze elevate e un tempo di salita lungo è estremamente improbabile.

Il contenuto energetico di una sovratensione transitoria varia in maniera considerevole a seconda della sua origine. Una sovratensione indotta dovuta a fulminazione ha generalmente un'ampiezza maggiore ma minore contenuto energetico di una sovratensione di manovra, a causa della durata maggiore di queste ultime.

Interruzione dell'alimentazione



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

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

- a) programmata, quando gli utenti della rete sono stati precedentemente avvertiti;
- 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).

Generalmente, le interruzioni sono causate dall'intervento da dispositivi di manovra o protezione. Gli effetti di un'interruzione programmata possono essere minimizzati dagli utenti della rete prendendo provvedimenti appropriati.

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

Le interruzioni accidentali sono eventi imprevedibili e largamente casuali.

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).

NB: la classificazione data dalla norma CEI EN 50160, indicata al punto b), non coincide con la classificazione definita dall'Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente (ARERA) che è la seguente:

- interruzione lunga (maggiore di 3min)
- interruzione breve (durata compresa tra 1s e 3min)
- interruzione transitoria (durata inferiore ad 1s)

Sovraelevazione di tensione

Sovratensione temporanea a frequenza di rete: aumento temporaneo della tensione efficace in un punto del sistema di alimentazione elettrica al di sopra di una soglia di inizio specificata.

Secondo la norma EN50160, la soglia di inizio della sovraelevazione di tensione è uguale al 110 % della tensione di riferimento. Una sovraelevazione di tensione è un disturbo elettromagnetico a due dimensioni, il cui livello è determinato sia dalla tensione che dal tempo (durata).

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.

Durata della sovraelevazione di tensione: 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.

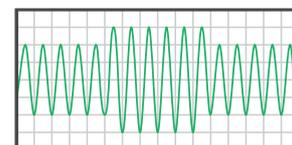
Soglia di fine della sovraelevazione di tensione: valore efficace della tensione in un sistema di alimentazione elettrica specificato allo scopo di definire la fine di una sovraelevazione di tensione.

Soglia di inizio della sovraelevazione di tensione: valore efficace della tensione di un sistema di alimentazione elettrica specificato allo scopo di definire l'inizio di una sovraelevazione di tensione.

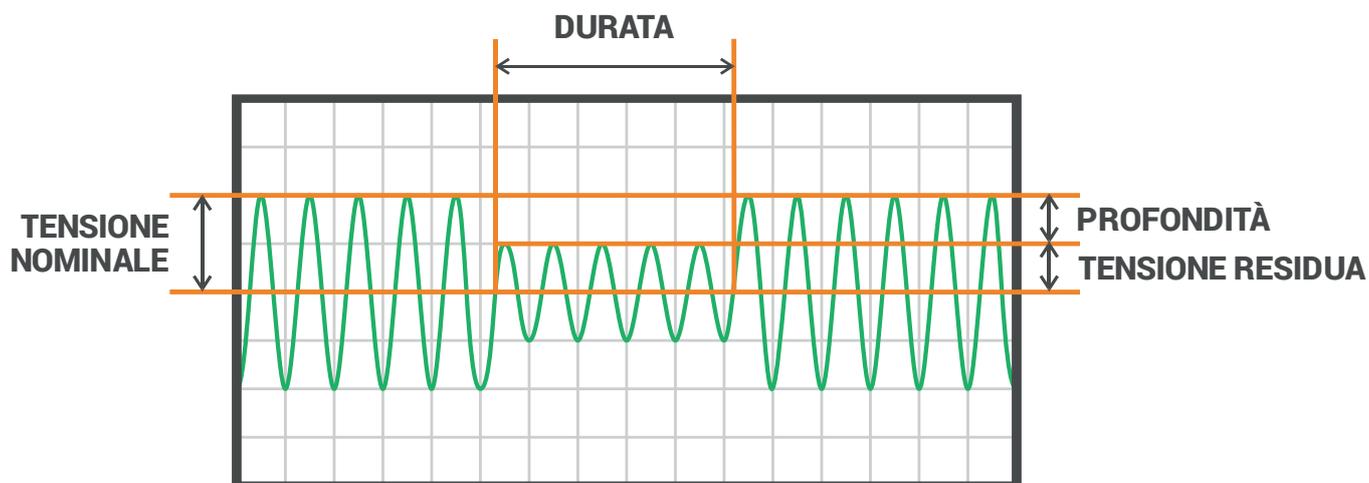
Se si raccolgono statistiche, le sovraelevazioni di tensione devono essere classificate secondo la seguente tabella.

Classificazione delle sovraelevazioni di tensione secondo la tensione e la durata massime.

Sovraelevazione di tensione u [%]	Durata t [ms]		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 \leq t \leq 5000$	$5000 \leq t \leq 60000$
$u \geq 120$	CELLA S1	CELLA S2	CELLA S3
$120 > u > 110$	CELLA T1	CELLA T2	CELLA T3



Buco di tensione (sag)



Riduzione temporanea della tensione efficace in un punto nel sistema di alimentazione elettrica al di sotto di una soglia di inizio specificata, secondo la EN50160 la soglia di inizio del buco è uguale al 90 % della tensione di riferimento. Si parla di buco se la tensione residua è superiore al 5% su tutte le fasi.

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.

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: 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. La durata di un buco è compresa tra 10ms e 1min compreso.

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.

Soglia di fine del buco di tensione: valore efficace della tensione in un sistema di alimentazione elettrica con lo scopo di definire la fine di un buco di tensione.

Tensione residua del buco di tensione: valore minimo della tensione efficace registrato durante un buco di tensione, secondo la norma EN50160 la tensione residua è espressa in percentuale della tensione di riferimento.

Soglia di inizio del buco di tensione: valore efficace della tensione in un sistema di alimentazione elettrica specificato allo scopo di definire l'inizio di un buco di tensione.

I buchi di tensione sono generalmente originati da guasti che si producono nelle rete pubblica o negli impianti degli utenti della rete. Le sovrarelevazioni di tensione sono generalmente causate da manovre e da sconnessioni del carico.

Entrambi i fenomeni sono imprevedibili e largamente casuali, e non sono imputabili né al gestore della rete né al distributore di energia. 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.

Il problema di Power Quality più rilevante è il buco di tensione: l'esperienza ha dimostrato che la causa principale dei problemi di Power Quality dell'utente finale sono proprio i buchi di tensione.

Oltre il 60% dei costi dovuti ad un basso Power Quality sono conseguenza dei buchi di tensione. Il costo di un buco di tensione è normalmente inferiore a quello di un'interruzione dell'alimentazione di tensione, ma il primo è di gran lunga più frequente. I problemi aumentano con apparecchiature sofisticate ed elettroniche.

MISURA E VALUTAZIONE DEI BUCHI DI TENSIONE

Se si raccolgono statistiche, i buchi di tensione/le sovrالعlevazioni di tensione devono essere misurati e rilevati secondo la EN 61000-4-30, usando come riferimento la tensione nominale di alimentazione. Le caratteristiche dei buchi di tensione/delle sovrالعlevazioni di tensione di interesse per la EN50160 sono la tensione residua (massima tensione efficace per le sovrالعlevazioni di tensione) e la durata.

Sulle reti BT, per i sistemi trifase a quattro conduttori, si devono prendere in considerazione le tensioni fase-neutro; per i sistemi trifase a tre conduttori si devono prendere in considerazione le tensioni fase-fase; nel caso di una connessione monofase, si deve prendere in considerazione la tensione di alimentazione (fase-fase o fase-neutro, secondo la connessione dell'utente della rete).

Convenzionalmente, la soglia di inizio dei buchi è uguale al 90 % della tensione nominale; la soglia di inizio per le sovrالعlevazioni di tensione è uguale al 110 % della tensione nominale.

Generalmente, sulle reti BT:

- se si prende in considerazione un sistema trifase, si deve applicare l'aggregazione polifase; l'aggregazione polifase consiste nel definire un evento equivalente caratterizzato da una singola durata e da una singola tensione residua;
- si applica l'aggregazione temporale; l'aggregazione temporale consiste nel definire un evento equivalente in caso di eventi successivi multipli; il metodo usato per l'aggregazione di eventi multipli può essere definito secondo l'utilizzo finale dei dati, alcune regole di riferimento sono riportate nella IEC/TR 61000-2-8.

Se si raccolgono statistiche, i buchi di tensione devono essere classificati secondo la tabella sotto riportata:

Classificazione dei buchi di tensione secondo la tensione residua e la durata.

Tensione residua u [%]	Durata t [ms]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 \leq t \leq 500$	$500 \leq t \leq 1000$	$1000 \leq t \leq 5000$	$5000 \leq t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	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

Tale classificazione dei buchi è coerente con le normative CEI EN 61000-4-11 e 61000-4-34, che definiscono le classi di immunità delle apparecchiature in funzione della sopportabilità dei buchi di tensione. In particolare:

- i buchi classificabili nelle celle A1, B1, A2, B2 sono sopportabili dalle apparecchiature in classe 2 (da utilizzare negli ambiti industriali e terziario);
- i buchi classificabili nelle celle A1, B1, C1, A2, B2, A3, A4 sono sopportabili dalle apparecchiature in classe 3 (da utilizzare negli ambiti industriali caratterizzati da utenze disturbanti quali saldatrici, puntatrici, sistemi di conversione CA/CC, etc).

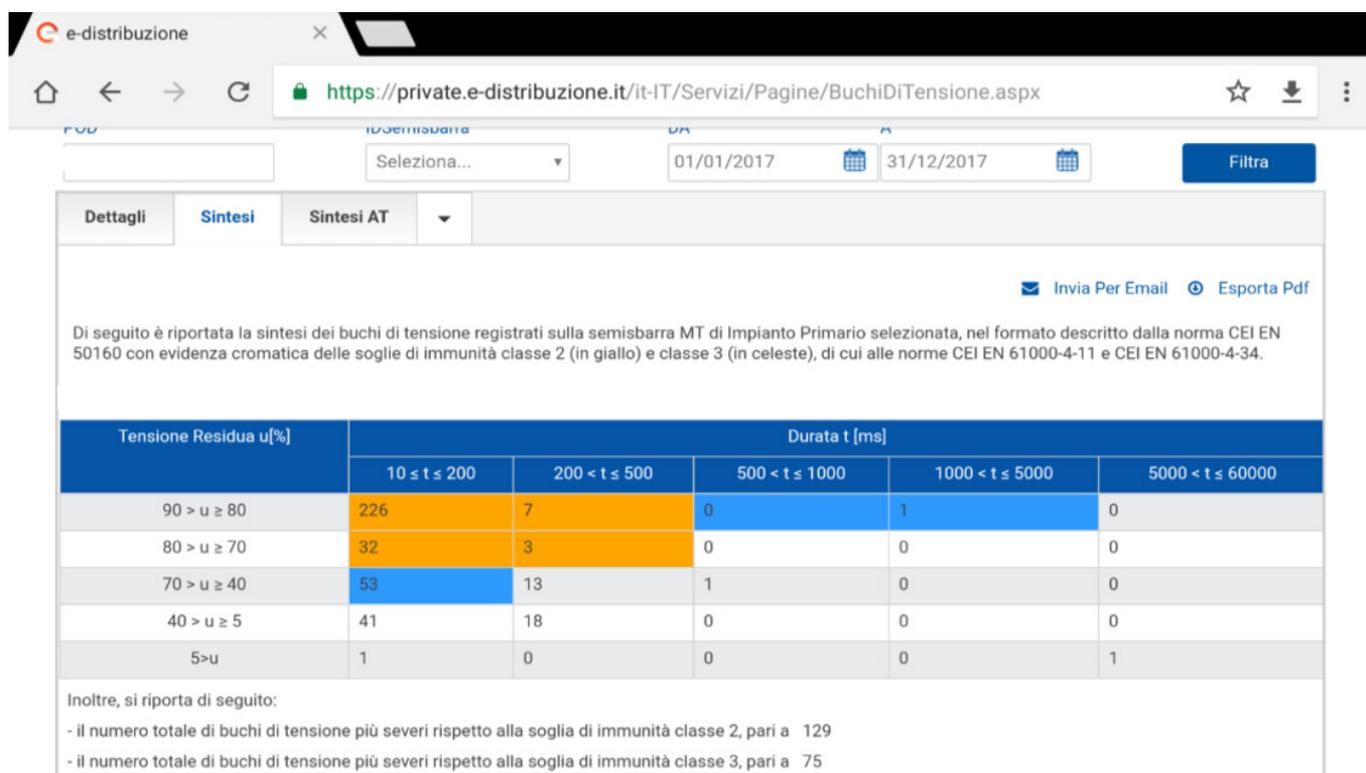
I livelli di compatibilità per le reti elettriche industriali sono definiti nella EN 61000-2-4

Come previsto dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (già AEEGSI) con la delibera 646/2015/R/eel, Allegato A, articolo 17, il distributore fornisce al cliente finale che ne faccia richiesta l'accesso alle informazioni contenute nel registro dei buchi di tensione, sotto forma di tabella di sintesi ed elenco di dettaglio dei buchi di tensione registrati sulla semi sbarra MT di Cabina Primaria che alimenta il POD del cliente.

Ecco l'approdo al portale di e-distribuzione:

<https://www.e-distribuzione.it/it/servizi/interruzioni/buchi-di-tensione.html>

Di seguito esempio di tabella di sintesi ottenuta tramite portale di e-distribuzione. Sono evidenziate in arancione le celle corrispondenti all'immunità classe 2, ed in blu quelle corrispondenti all'immunità classe 3:



Di seguito è riportata la sintesi dei buchi di tensione registrati sulla semisbarra MT di Impianto Primario selezionata, nel formato descritto dalla norma CEI EN 50160 con evidenza cromatica delle soglie di immunità classe 2 (in giallo) e classe 3 (in celeste), di cui alle norme CEI EN 61000-4-11 e CEI EN 61000-4-34.

Tensione Residua u[%]	Durata t [ms]				
	10 ≤ t ≤ 200	200 < t ≤ 500	500 < t ≤ 1000	1000 < t ≤ 5000	5000 < t ≤ 60000
90 > u ≥ 80	226	7	0	1	0
80 > u ≥ 70	32	3	0	0	0
70 > u ≥ 40	53	13	1	0	0
40 > u ≥ 5	41	18	0	0	0
5 > u	1	0	0	0	1

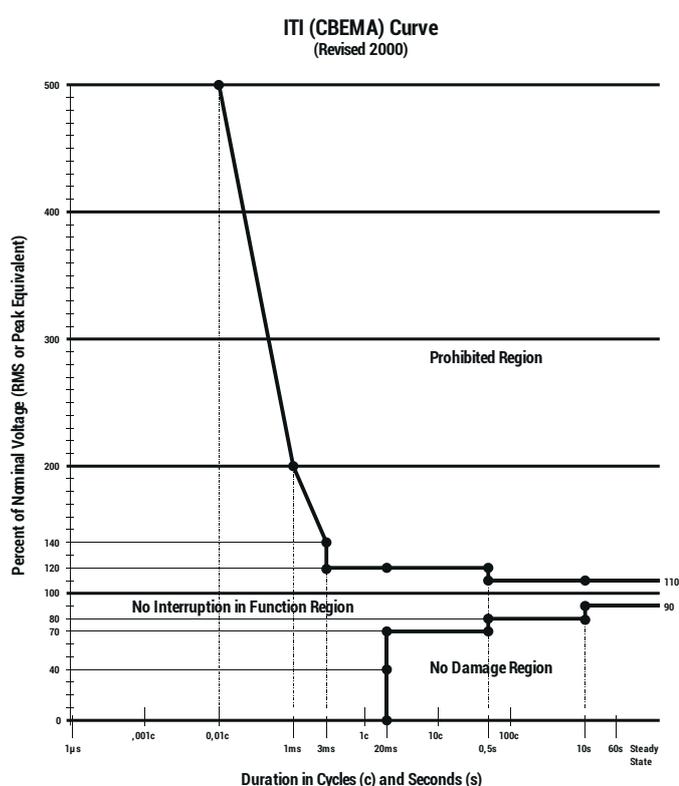
Inoltre, si riporta di seguito:

- il numero totale di buchi di tensione più severi rispetto alla soglia di immunità classe 2, pari a 129
- il numero totale di buchi di tensione più severi rispetto alla soglia di immunità classe 3, pari a 75

IMMUNITÀ DELLE APPARECCHIATURE AI BUCHI DI TENSIONE

Sono stati sviluppati diversi indicatori grafici, nel diagramma tensione/tempo, per definire l'immunità ai buchi di tensione di determinate tipologie di processi produttivi, uno dei più noti è la curva **CBEMA**.

La curva **CBEMA** (associazione dei costruttori di dispositivi elettronici di consumo) a volte indicata anche come **ITIC** (Information Technology Industry Council) mostra le aree di tollerabilità del processo di produzione di apparecchiature elettroniche alle variazioni di tensione e le aree problematiche.



Le problematiche sorgono nell'area indicata come "Prohibited Region" (possibili danneggiamenti da sovratensione) e nell'area indicata come "No Damage Region" (interruzione del servizio, ma senza danni alle apparecchiature).

SEMI, associazione dell'industria dei semiconduttori, ha sviluppato lo standard SEMI F47 per l'immunità dai buchi di tensione, raccomandata dalla norma IEEE 1564.

SEMI F47 è importante perché gli stabilimenti per la produzione di semiconduttori richiedono alti livelli di Power Quality a causa della sensibilità delle apparecchiature e dei controlli di processo.

Secondo la SEMIF47 le apparecchiature per la produzione di semiconduttori devono sopportare buchi di tensione con tensione residua maggiore del 50% per 200ms, del 70% fino a 0,5 secondi e dell'80% fino a 1 secondo.

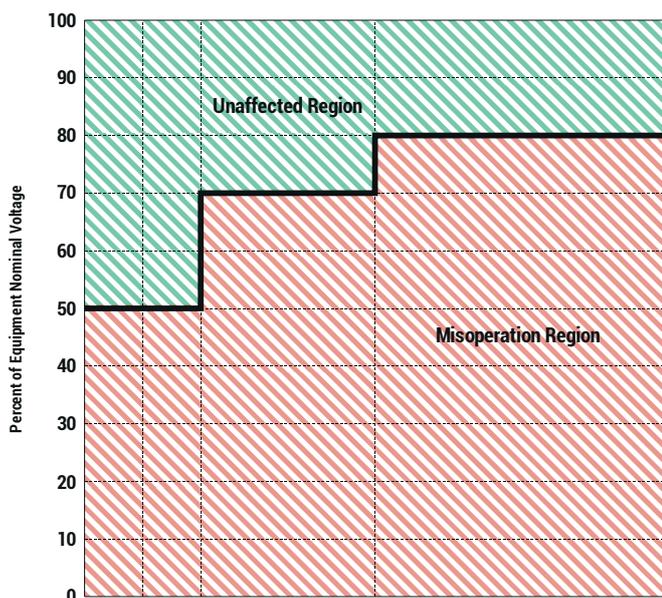
Tali requisiti sono definiti dalla tabella:

SEMI F47 Durata del buco di tensione e deviazione percentuale dalla tensione nominale ammessa dall'apparecchiatura.

Durata del buco di tensione				Buco di tensione
Secondi (s)	Millisecondi (ms)	Cicli a 60Hz	Cicli a 50Hz	% della tensione nominale dell'apparecchiatura
<0,05 s	<50 ms	<3 cycles	<2,5 cycles	Non specificata
0,05 to 0,2 s	50 to 200 ms	3 to 12 cycles	2,5 to 10 cycles	50%
0,2 to 0,5 s	200 to 500 ms	12 to 30 cycles	10 to 25 cycles	70%
0,5 to 1 s	500 to 1000 ms	30 to 60 cycles	25 to 50 cycles	80%
>1,0 s	>1000 ms	>60 cycles	>50 cycles	Non specificata

L'apparecchiatura deve poter funzionare senza interruzioni durante le condizioni identificate nell'area verde sopra la linea nera.

Curva di immunità delle apparecchiature per semiconduttori.



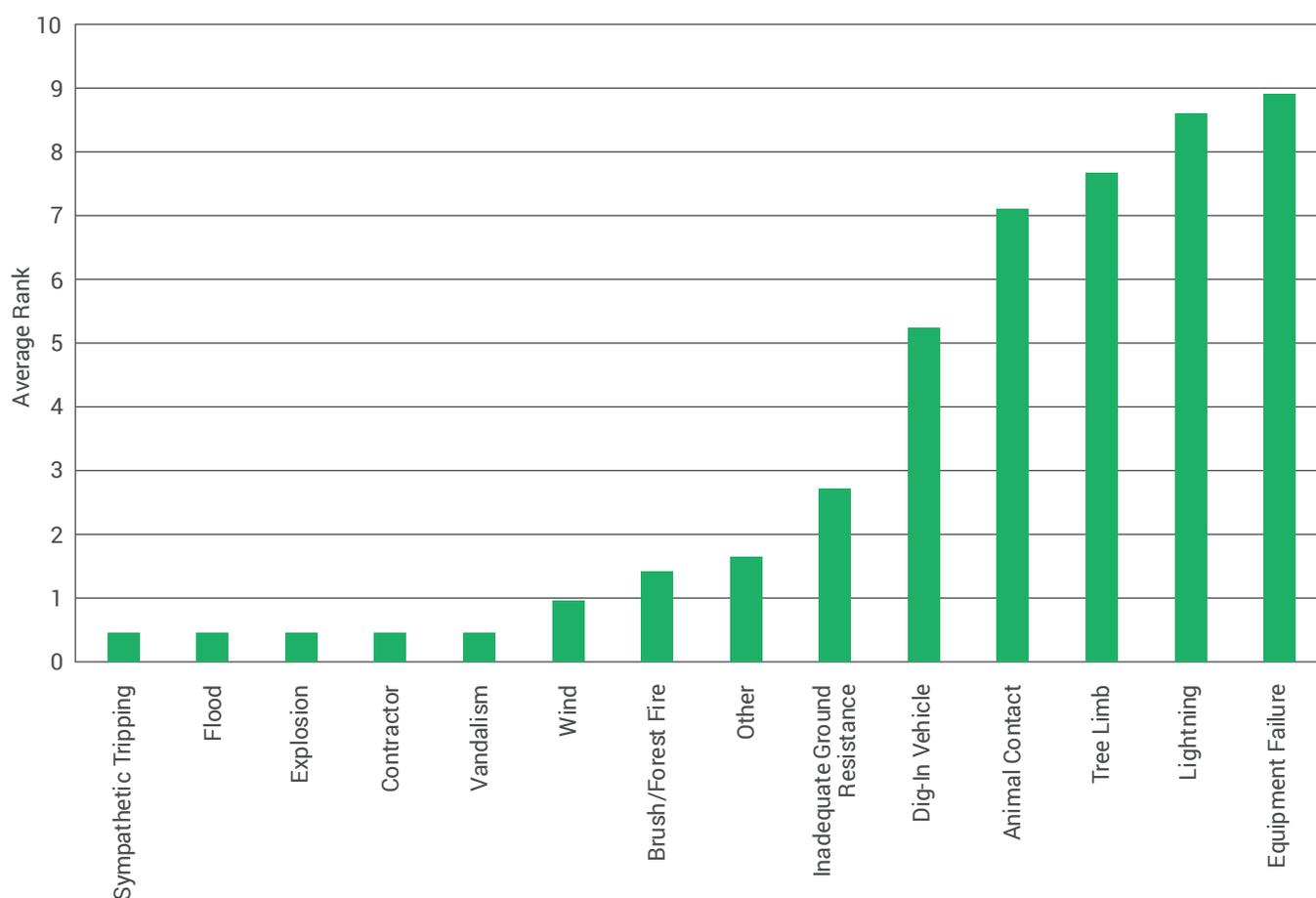
CAUSE DEI BUCHI DI TENSIONE

I buchi di tensione sono generalmente originati da guasti nella rete pubblica o negli impianti degli utenti della rete, in qualche caso dai sovraccarichi transitori dovuti allo spunto di grossi motori o inserzione di grossi carichi.

I buchi di tensione si propagano da monte verso valle, quindi un buco di tensione originato sulla rete MT si ripercuoterà anche sulla rete bt, ma non viceversa.

I guasti possono verificarsi all'interno di interruttori di trasferimento, trasformatori, condotti sbarre, cavi di alimentazione e interruttori automatici.

Cause dei buchi di tensione, fonte EPRI, Electric Power Research Institute.



Il buco di tensione si propaga dai livelli di tensione maggiori a quelli inferiori, ma non viceversa; quindi un buco di tensione originato sulla rete MT si ripercuoterà anche sulla rete bt mentre un buco originato sulla rete bt non verrà riscontrato sulla rete MT. Spesso il carico è connesso a un livello di tensione inferiore rispetto a quello in cui il buco viene generato.

I guasti in rete causano buchi di tensione più profondi se si verificano vicino ai carichi: la profondità del buco è infatti proporzionale all'impedenza di rete vista nel punto in cui avviene il buco.

Secondo uno studio CESI l'incidenza dei buchi di tensione è di gran lunga maggiore in caso di rete MT aerea piuttosto che con cavi sotterranei.

IMPATTI SUI PROCESSI PRODUTTIVI

I costi di fermo macchina negli impianti di produzione possono essere elevati, in genere superiori a quelli associati a realtà non produttive quali istituti finanziari, data center e strutture sanitarie. Inoltre, gli impianti di produzione possono essere sensibili a una gamma più ampia di disturbi elettrici rispetto alle interruzioni che vengono conteggiate nelle tradizionali statistiche di affidabilità dell'ente distributore.

Buchi di tensione di durata inferiore ai 100 millisecondi possono avere lo stesso effetto su un processo industriale di un'interruzione che dura diversi minuti.

Tutti i processi odierni contengono un certo livello di automazione e molti sono quasi completamente automatizzati. I processi automatizzati sono collegati tra loro tramite sistemi di reti di dati per garantire il controllo dei tempi di processo. Tipicamente ogni parte del processo viene eseguita tramite una macchina dedicata, unica per la fase di processo, e alimentata da un proprio alimentatore dedicato.

L'immunità a buchi e interruzioni varia per ogni apparecchiatura.

Molti dei processi di produzione odierni utilizzano sistemi che contengono alimentatori sensibili anche ai più comuni buchi di tensione. Alcuni processi utilizzano alimentatori che non riescono a soddisfare le curve di tolleranza di tensione come le curve ITIC/CBEMA e SEMI F47.

Esistono diversi meccanismi per cui un buco di tensione può interferire con i processi industriali e commerciali:

- **Errore di controllo.** La perdita di potenza di controllo si traduce nell'impossibilità di controllare il processo. Questo potrebbe essere il problema più diffuso, soprattutto tra gli utenti commerciali.
- **Interruzione del contattore.** Molti controlli industriali utilizzano contattori a ritenuta magnetica come dispositivi di controllo del motore. Un abbassamento di tensione può causare un collasso momentaneo del campo magnetico che mantiene chiusi i contatti. Quando i contatti si aprono, il motore si ferma.
- **Flicker di tensione.** Il flicker (sfarfallio) è la variazione ripetitiva dell'intensità dell'illuminazione ed è più un fattore di irritazione umano che una causa diretta dell'interruzione del processo.
- **Dinamica della macchina.** Poiché il valore efficace della tensione è essenziale per la trasmissione di energia, gli abbassamenti di tensione limitano la capacità di un sistema di alimentazione di distribuire la potenza dalle fonti ai carichi. Questa limitazione nel trasferimento di potenza può portare i generatori a non essere in grado di mantenere la stabilità.
- **Stallo e riaccelerazione.** I motori si bloccano se la tensione di alimentazione è bassa per un periodo prolungato. Questo potrebbe essere un problema se il motore non è adeguatamente protetto. Inoltre, i motori devono riaccelerare quando viene ripristinata la normale tensione. La riaccelerazione comporta correnti del motore più elevate del normale, che possono causare ulteriori problemi di tensione.

Bibliografia

IEEE Standard 1159.3-2003, *IEEE Recommended Practice for the Transfer of PQ Data*
 SEMI F47-0200, *Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity*
 EPRI Solutions, *PQ Encyclopedia*
 CEI EN 50160:2011-05, *European Standard*