

La distribuzione in bassa tensione

Scemi di collegamento a terra	480
Tensioni, sovratensioni	482
Qualità dell'energia	483
Miglioramento della qualità della rete	488
Influenze esterne	489

Correnti di sovraccarico

Determinazione della corrente I_2	490
Determinazione della corrente ammissibile I_2	481
Protezione delle canalizzazioni contro i sovraccarichi mediante fusibili gG	495

Correnti di corto circuito

Calcolo della I_{cc} di una fonte di alimentazione	494
Calcolo della I_{cc} di un impianto in bassa tensione	497
Protezione della canalizzazioni	502
Protezione della canalizzazioni con fusibili	503

Contatti diretti e indiretti

Protezione contro i contatti diretti	504
Protezione contro i contatti diretti	505
Protezione contro i contatti indiretti con fusibili	508
Protezione contro i contatti indiretti con relè differenziale	509

Cadute di tensione

Calcolo della caduta di tensione in un cavo di lunghezza L	510
Metodo detto delle "Sezioni economiche"	510

Dispositivi di apertura

Norme di costruzione IEC 60947	511
Norme di installazione IEC 60364	513
Scelta di un apparecchio di apertura	514
Esempi d'uso	515
Limiti d'uso	517

Protezione fusibile

Caratteristiche generali	518
Limitazione della corrente di corto circuito	518
Scelta di un fusibile "gG" o "aM"	519
Protezione delle canalizzazioni contro i sovraccarichi mediante fusibili gG	522
Protezione della canalizzazioni con fusibili	523
Protezione contro i contatti indiretti con fusibili	524
Curve caratteristiche dei fusibili gG	528
Curve caratteristiche dei fusibili aM	527
Scelta di un fusibile UR	529
Selettività	530

Sistema di gestione dell'energia

Introduzione	534
Tariffario	534
Misura elettrica	535
Conteggio di energia	535
Sorveglianza	536
Controllo comando	536
Qualità dell'energia	536

Reti di comunicazione

Comunicazione analogica	537
Comunicazione digitale	538
Il protocollo JBUS/MODBUS	539
Il bus RS 485	542
Il protocollo PROFIBUS	546

Misura elettrica

Dispositivo ferromagnetico	548
Dispositivo a bobina mobile	548
Dispositivo a bobina mobile da raddrizzatore	548
Posizione d'utilizzo	548
Utilizzo di trasformatori di tensione	548
Convertitore di potenza	549
Classe di precisione	549
Consumo dei cavi in rame	549
Trasformatore sommatore	550
TA saturabili	550
Adattamento dei rapporti di trasformazione	550

Protezione digitale delle reti

Generalità	551
Funzioni di protezione	551
Curve di protezione a tempo dipendente	551
Relé di protezione	551
Rappresentazione delle curve	551
Equazione delle curve	551
Protezione del neutro	552
Protezione "guasto a terra"	552
Curva di protezione a tempo indipendente	552
Protezione contro il ritorno di potenza	552
Scelta de TA	552

Protezione differenziale

Generalità	553
Definizioni	554
Applicazioni	555
Installazione	558

Controllori Permanenti d'Isolamento

Generalità	562
Definizioni	563
Casi di utilizzo	564
Collegamento dei CPI	567

Limitatore di sovratensione

Generalità	568
Induttanza di limitazione della corrente	568
Livello effettivo di protezione assicurato da un limitatore di sovratensione	568
Tensioni nominali d'innescamento a frequenza industriale	568
Collegamento del dispositivo limitatore	568

Gli scaricatori

Protezione contro le sovratensioni transitorie	569
Sovratensioni dovute a fulmini	571
Principali regolamenti e norme	572
Tecnologia	574
Costituzione interna	576
Principali caratteristiche degli scaricatori	576
Scelta e implementazione degli scaricatori di testa	577
Protezione delle apparecchiature e scaricatori di distribuzione	579
Regole e scelta degli scaricatori	581
Lay-out e manutenzione	582

Cassette

Effetti termici	583
Calcolo termico delle cassette	584
Scelta della climatizzazione	584

Barre di distribuzione

Scelta del materiale delle barre	586
Determinazione di I_{cc} di cresta in funzione della I_{cc} efficace	586
Effetto termico del corto circuito	586
Effetti elettrochimici	586

Scemi di collegamento a terra

Uno schema di collegamento a terra o "regime di neutro" in una rete a bassa tensione, viene definito da due lettere:

La prima definisce il collegamento a terra del secondario del trasformatore (molto spesso il punto-neutro)	collegato a terra	T	T	collegate a terra	La seconda definisce il collegamento a terra delle masse
	isolato a terra	I	T	collegate a terra	
	collegato a terra	T	N	collegate al neutro	

⇨ TT: regime "Neutro a terra"

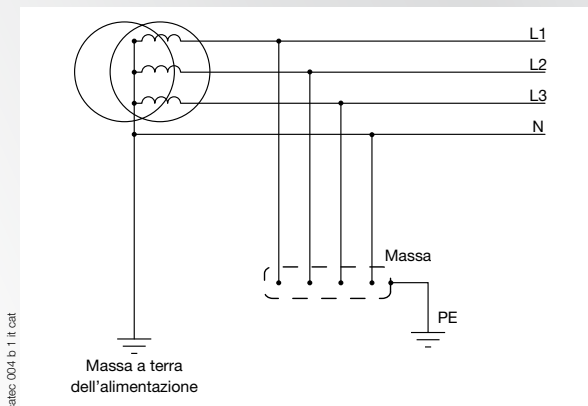
Questo regime di neutro viene imposto dall'ENEL per le reti di distribuzione pubblica in bassa tensione in Italia. In caso di guasto d'isolamento, c'è il distacco parziale o totale degli utilizzatori.

L'apertura è obbligatoria al primo guasto.

L'insieme dei carichi deve essere dotato di una protezione differenziale istantanea.

La protezione differenziale può essere generale o suddivisa, in funzione dei tipi e dell'importanza dell'installazione.

Questo regime si incontra nei seguenti casi: domestico, piccolo terziario, piccole officine, stabilimenti scolastici con laboratori di esercitazione, ecc.



⇨ TN: regime "Collegamento con neutro a terra"

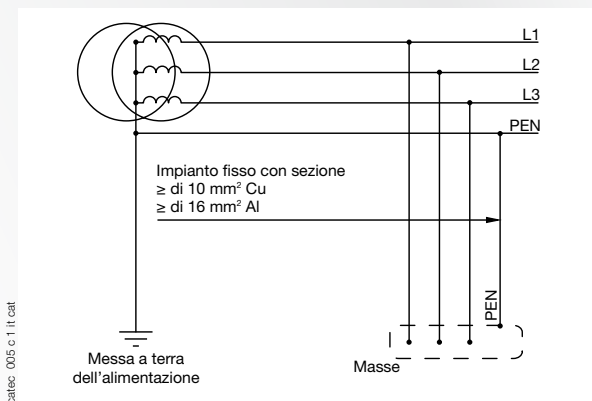
Questo principio di distribuzione è usato in ogni installazione in cui è tollerata un'apertura al primo guasto.

La messa in opera e l'utilizzo di questo tipo di rete sono economici ma necessitano di un'installazione molto precisa dei circuiti di protezione.

I conduttori del neutro (N) e di protezione (PE) possono essere identici (TN-C) o separati (TN-S).

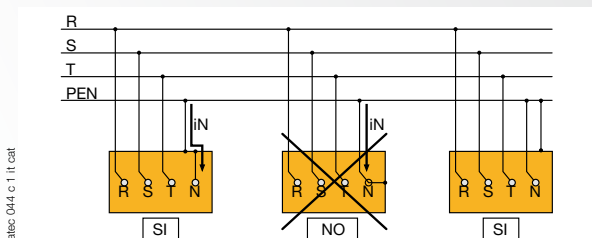
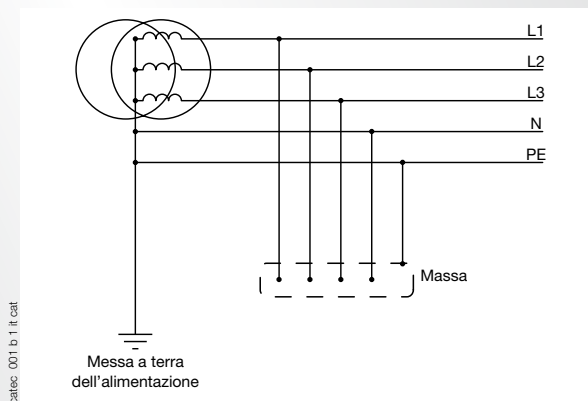
• Schema TN-C

Il conduttore PEN (Protezione e Neutro) non deve mai essere sezionato. I conduttori PEN devono avere una sezione superiore a 10 mm² se in rame e a 16 mm² se in alluminio e non devono comprendere installazioni mobili (cavi flessibili).



• Schema TN-S

Una rete TN-S può essere creata a valle di una rete TN-C, mentre il contrario è vietato. Di solito, i conduttori di neutro nel regime TN-S sono sezionati, non vengono protetti e le loro sezioni sono obbligatoriamente uguali a quelle delle fasi corrispondenti.



La funzione di "protezione" del conduttore PEN è prevalente rispetto alla funzione di "neutro".

Scemi di collegamento a terra (seguito)

IT: regime "Neutro isolato"

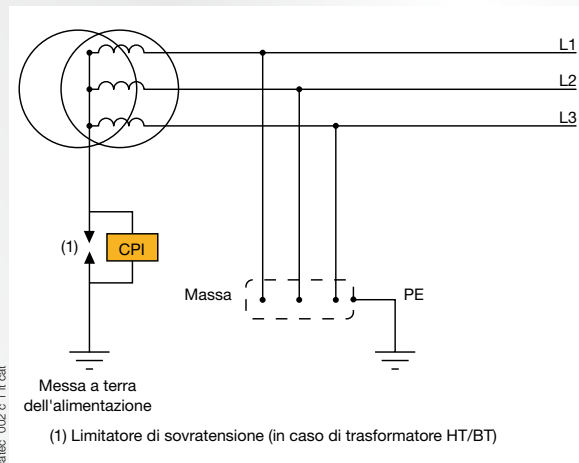
Questo regime di neutro viene usato per garantire la continuità di esercizio della rete cioè quando l'apertura al primo guasto d'isolamento è compromettente per il buon funzionamento dell'impianto o per la sicurezza delle persone.

L'utilizzo di questo regime impone la presenza costante di personale competente sul luogo per interventi veloci al momento del primo guasto d'isolamento, per garantire la continuità d'esercizio prima che si verifichi un eventuale secondo guasto che provocherebbe il fuori servizio dell'impianto.

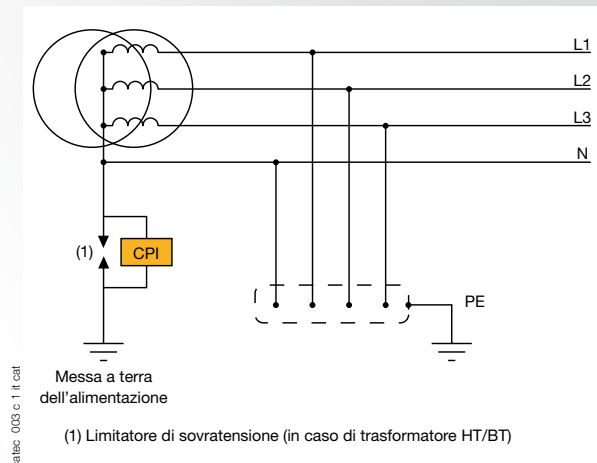
Un limitatore di sovratensione è obbligatorio per permettere di scaricare a terra eventuali sovratensioni provenienti da installazioni in alta tensione (guasto del trasformatore in alta o media tensione, manovre, fulmine...).

La protezione delle persone è assicurata da:

- l'interconnessione e la messa a terra delle masse,
 - il monitoraggio del primo guasto tramite CPI (Controllore Permanente d'Isolamento),
 - l'apertura al secondo guasto mediante i dispositivi di protezione contro le sovracorrenti o mediante i dispositivi differenziali.
- Questo regime viene usato, per esempio, negli ospedali (sale operatorie) o nei circuiti di sicurezza (illuminazione) e nelle industrie in cui la continuità di esercizio è fondamentale o quando si vuole ridurre considerevolmente i rischi di incendio o di esplosione per la debole corrente di guasto.



Schema IT senza neutro distribuito.



Schema IT con neutro distribuito

La distribuzione in bassa tensione

Tensioni, sovratensioni

↪ Classificazione degli impianti

In Bassa Tensione, gli impianti si possono suddividere in due parti secondo la norma IEC 60364 e tre parti secondo il decreto del 14.11.88.

Classificazione Decreto	IEC	Tensione nominale U_n	
		AC	CC
BT: Bassissima Tensione	I	≤ 50 V	≤ 120 V
BTA: Bassa Tensione A	II	50 V < $U_n \leq 500$ V	120 V < $U_n \leq 750$ V
BTB: Bassa Tensione B	II	500 V < $U_n \leq 1000$ V	750 V < $U_n \leq 1500$ V

↪ Tensione normalizzata in AC

- In monofase: 230 V.
- In trifase: 230 V / 400 V e 400 V / 690 V.

Evoluzione delle tensioni e delle tolleranze (IEC 60038)

Periodi	Tensioni di	Tolleranze
Prima del 1983	220 V / 380 V / 660 V	$\pm 10\%$
Dal 1983 a 2003	230 V / 400 V / 690 V	+ 6% / - 10%
Dopo il 2003	230 V / 400 V / 690 V	$\pm 10\%$

↪ Protezione contro le sovratensioni transitorie

E' assicurata:

- Dalla scelta dell'apparecchiatura in funzione di U_{imp}

Le norme IEC 60364 definiscono 4 categorie d'uso:

Categoria I	Materiali o componenti elettronici con U_{imp} bassa. <i>Es.: circuiti elettronici</i>
Categoria II	Apparecchi d'uso destinati a essere connessi all'impianto elettrico dell'edificio. <i>Es.: - attrezzatura portatile... - informatico, TV, Hifi, allarmi, elettrodomestici con programmazione elettronica...</i>
Categoria III	Apparecchi appartenenti a installazioni fisse e altri apparecchi per i quali è richiesto un livello più alto di affidabilità. <i>Es.: - armadi di distribuzione... - Installazioni fisse, motori...</i>
Categoria IV	Apparecchiatura situata all'origine dell'installazione o vicina all'origine dell'installazione a monte del quadro di distribuzione. <i>Es.: - sensori, trasformatori... - Apparecchi principali di protezione contro le sovracorrenti</i>

Sovratensione in kV secondo la classe d'utilizzo

Rete trifase	Rete monofase	IV	III	II	I
230 V / 400 V	230 V	6	4	2,5	1,5
400 V / 690V		8	6	4	2,5
690 V / 1000 V				Xx	

(Xx) Valori proposti dai costruttori delle apparecchiature. Di default, i valori della riga qui sopra possono essere scelti.

- Dagli scaricatori (vedere pagina 569)

N.B.: Le sovratensioni di origine atmosferica non subiscono attenuazione significativa a valle nella maggiore parte delle installazioni. Di conseguenza, la scelta delle categorie di sovratensioni degli apparecchi non è sufficiente per eseguire una protezione contro le sovratensioni. Un'analisi dei rischi adatta deve essere realizzata per definire gli scaricatori necessari ai diversi livelli dell'impianto.

↪ Rigidità dielettrica a 50 Hz

Le apparecchiature dell'impianto B.T. devono avere le seguenti rigidità dielettriche:

Durata	Tensione ammissibile (V)
> 5	$U_o + 250$
≤ 5	$U_o + 1200$

Qualità dell' energia

Le tolleranze di solito ammesse (EN 50160) per un buon funzionamento di una rete che comporta dei carichi sensibili alle perturbazioni (componenti elettronici, materiale informatico...) sono sintetizzate nelle rubriche seguenti.

➤ Cadute di tensione e aperture

• Definizione

Una caduta di tensione è una diminuzione dell'ampiezza della tensione per un tempo compreso tra 10 ms e 1 sec. La variazione di tensione è espressa in % della tensione nominale (tra 10 e 100 %). Una caduta di tensione del 100 % è detta apertura.

Seguendo il tempo t di apertura, si distinguono:

- 10 ms < t < 1 sec.: le microaperture dovute, per esempio, alle richiuse rapide su guasti transistori...
- 1 sec. < t < 1 min.: le brevi aperture dovute al funzionamento delle protezioni, alla messa in servizio degli apparecchi con elevata corrente di spunto...
- 1 min. < t : le lunghe aperture dovute di solito alla rete ad alta tensione.

Cadute di tensione secondo la norma EN 50160 (condizione)

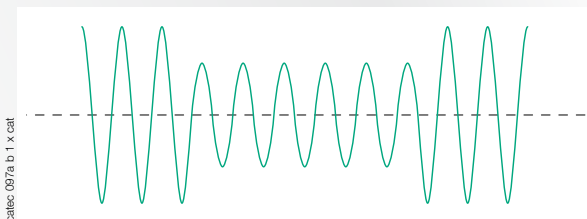
	Tolleranze		
	normale	eccezionale	in funzione dei carichi
Numero	da $x 10$ a $x 1000$	1000	Elevato
Durata	< 1 s	> 1 s	
Profondità	< 60 %	> 60 %	tra 10 e 15 %

Aperture brevi secondo la norma EN 50160 (per periodo di un anno)

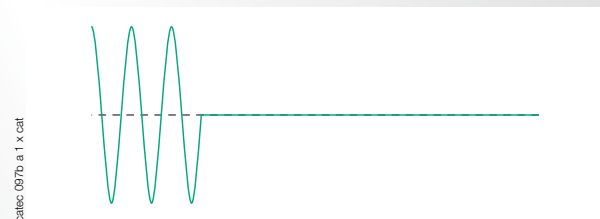
Tolleranze	
Numero	n da $x 10$ a $x 1000$
Durata	< 1 s per 70 % di n

Aperture lunghe secondo la norma EN 50160 (per periodo di un anno)

Tolleranze	
Numero	n da $x 10$ a $x 1000$
Durata	> 3 min



Caduta di tensione.



Apertura.

• Conseguenza delle cadute di tensione e delle aperture

- Apertura dei contattori (picchi > 30 %).
- Perdita di sincronismo dei motori sincroni, instabilità dei motori asincroni.
- Applicazioni informatiche: perdite di informazioni...
- Interferenza dell'illuminazione con lampade a scarica (spegnimento a causa della caduta del 50 % per 50 ms, la riaccensione avviene soltanto dopo qualche minuto).

• Soluzioni

- Qualunque sia il tipo di carico:
 - modificare la struttura della rete *vedere pagina 488*
- Secondo il tipo di carico:
 - alimentazione delle bobine dei contattori con tensioni concatenate,
 - aumento dell'inerzia dei motori,
 - uso di lampade a riaccensione immediata.

Qualità dell'energia (seguito)

↪ Variazioni di frequenza

Esse sono dovute di solito a delle défaillances dei gruppi elettrogeni. La soluzione consiste nell'utilizzare dei convertitori statici o degli UPS.

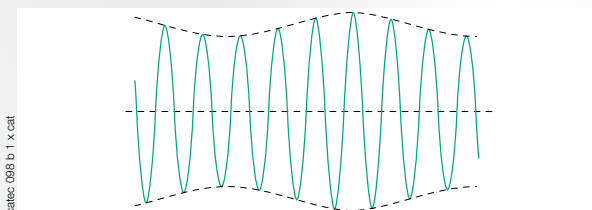
Frequenza in rete BT ($U_n = 230\text{ V}$) e rete AT ($1 < U_n \leq 35\text{ kV}$) secondo la norma EN 50160 (per periodo di dieci secondi)

	Tolleranze	
	Rete interconnessa	Rete non interconnessa (isolata)
99,5 % dell'anno	50 Hz \pm 1 %	50 Hz \pm 2 %
100 % del tempo	50 Hz \pm 4 % a -6 %	50 Hz \pm 15 %

↪ Variazione della tensione e Flicker

• Definizione

Il flicker è uno sfavillio della luce dovuto alle rapide variazioni della tensione. Produce un effetto sgradevole per le persone. Le rapide variazioni di tensione sono dovute agli apparecchi in cui la potenza assorbita varia molto rapidamente: forni ad arco, macchine per saldatura, laminatoi...



• Soluzioni

- UPS (per i piccoli carichi).
- inserimento di induttanze o batterie di condensatori nel circuito dei carichi.
- Collegamento ad un trasformatore dedicato ad alta, media e bassa tensione (forni ad arco).

↪ Sovratensioni transitorie

• Definizione

I fenomeni transitori sono essenzialmente costituiti da sovratensioni molto elevate (fino a 20 kV) e veloci dovute:

- ai fulmini,
- alle manovre o ai guasti sulla rete in alta tensione,
- agli archi elettrici dell'apparecchiatura,
- alle commutazioni di carichi induttivi,
- all'alimentazione di circuiti fortemente capacitivi:
 - reti di cavi estese,
 - macchine che provocano delle perturbazioni sulla rete.

Variazione della tensione secondo la norma EN 50160 (per periodo di una settimana)

x % del numero di U_n eff con media su 10 min	Tolleranze
95 %	$U_n \pm 10\%$
100 %	$U_n + 10\%$ a $U_n - 15\%$

Variazione rapida della tensione secondo la norma EN 50160

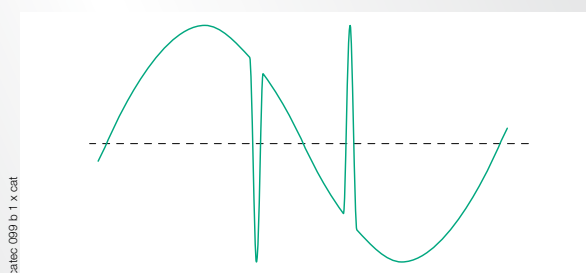
	Tolleranze
Di solito	5 % di U_n
Eventualmente	10 % di U_n

Effetto di sfavillio (effetto Flicker) secondo la norma EN 50160 (per periodo di una settimana)

	Tolleranze
95 % del tempo	$P_{LT} \leq 1$

Sovratensioni temporanee (a causa dello spostamento del punto della tensione concatenata)

	Tolleranze
Guasto a monte del trasformatore	< 1,5 kV



	Tolleranze
Valore	di solito < 6 kV
Tempo di salita	da μs a ms

• Effetti

- Sganci intempestivi dei dispositivi di protezione,
- Distruzione di materiali elettronici (schede di PLC, variatori di velocità...),
- Rottura della guaina di isolamento dei cavi,
- Surriscaldamento e invecchiamento prematuro delle apparecchiature dei sistemi informatici.

• Soluzioni

- Utilizzo di scaricatori e limitatori di sovratensioni.
- Aumento della potenza di corto-circuito della sorgente.
- Corretta realizzazione della messa a terra in alta, media e bassa tensione.

Qualità dell' energia (seguito)

Armoniche

Definizione

Le componenti armoniche di corrente o di tensione sono delle correnti o tensioni "parassite" della rete elettrica. Esse deformano l'onda sinusoidale di corrente o di tensione e provocano:

- aumento del valore efficace della corrente,
- circolazione di una corrente nel neutro, anche superiore alla corrente di fase,
- saturazione dei trasformatori,
- perturbazioni nelle reti con piccole correnti,
- sgancio intempestivo delle apparecchiature di protezione...
- misure sbagliate (corrente, tensione, energia...).

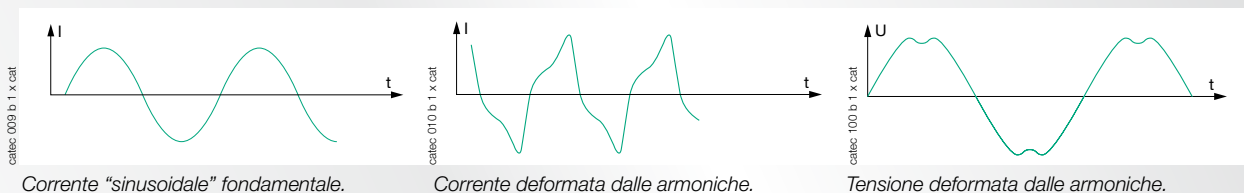
Le armoniche di corrente sono dovute ai trasformatori di corrente, agli archi elettrici (forni ad arco, saldatrici, lampade fosforescenti o a scarica) e soprattutto ai carichi non lineari quali raddrizzatori e convertitori statici (elettronica di potenza). Questi carichi sono detti carichi deformanti (vedere qui di seguito). Le armoniche di tensione sono dovute alla circolazione delle armoniche di corrente nell'impedenza delle reti e dei trasformatori.

Tensioni di armoniche

In un periodo di una settimana, 95 % delle tensioni di armoniche con media su 10 min. devono essere inferiori ai valori della tabella seguente. In più, il THD globale sulle tensioni deve essere inferiore a 8 % (anche fino al grado convenzionale 40).

Valore massimo delle tensioni di armoniche in % di U_n .

Armoniche dispari		Armoniche pari			
non multiplo di 3		multiplo di 3			
Grado H	% UC	Grado H	% UC	Grado H	% UC
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 a 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19 a 25	1,5				

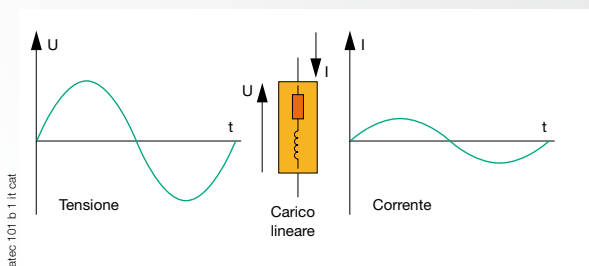


Solutions

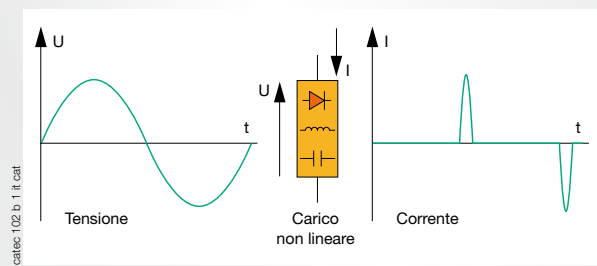
- Self in linea.
- Utilizzo di raddrizzatori.
- Declassamento degli apparecchi.
- Aumento della potenza di corto-circuito.
- Utilizzo di filtri.
- Aumento delle sezioni dei conduttori.
- Sovradimensionamento delle apparecchiature.

Carichi lineari - carichi deformanti

Un carico è detto lineare quando la corrente che lo attraversa ha la stessa forma della tensione:



Un carico è detto deformante quando la forma della corrente non corrisponde più alla forma della tensione:



I carichi deformanti producono una corrente di circolazione nel conduttore di neutro che può essere molto superiore ai valori della corrente di fase.

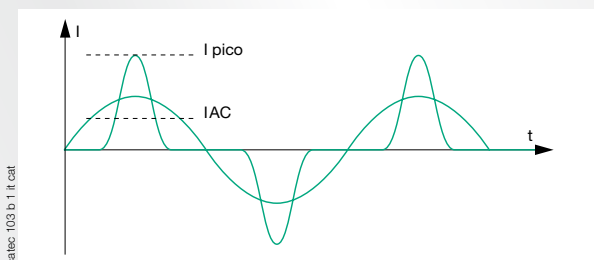
Qualità dell' energia (seguito)

Armoniche (seguito)

Fattore di picco (fc)

Nel caso dei carichi deformanti, la deformazione della corrente può essere caratterizzata dal fattore di picco:

$$f_c = \frac{I_{\text{picco}}}{I_{\text{eff}}}$$



Tensione deformata dalle armoniche.

Esempi di valori di fc:

- carico resistivo (sinusoide fondamentale): $\sqrt{2} = 1,414$,
- unità centrale informatica: 2 a 2,5,
- computer tipo PC: 2,5 a 3,
- stampanti: 2 a 3.

Alcuni di questi valori del fattore di picco mostrano che l'onda di corrente può essere molto lontana dalla sinusoide fondamentale.

Ordine delle armoniche

Le frequenze delle armoniche sono multipli della frequenza della rete (50 Hz). Il fattore di moltiplicazione è detto ordine dell'armonica.

Esempio: Armonica di corrente di ordine 5 ha una frequenza di $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$. Armonica di corrente di ordine 1 è detta "fondamentale".

Armoniche di corrente presenti sulla rete

La corrente circolante nella rete è la somma della corrente sinusoidali del primo ordine (detta "fondamentale") e di un certo numero di armoniche di corrente dipendenti dal tipo di carico.

Tabella A: corrente armoniche presenti sulla rete

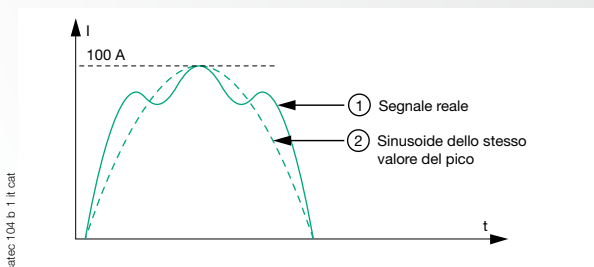
Fonti		Ordini delle armoniche																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Raddrizzatori	1 pulsazione	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	2 pulsazioni		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
	3 pulsazioni	•		•	•		•	•		•	•		•	•		•	•		•	•
	6 pulsazioni				•		•				•		•				•		•	
	12 pulsazioni										•		•							
Lampade a scarica		•		•		•		•		•		•		•		•		•		
Forni ad arco		•		•		•		•		•		•		•		•		•		

Esempio: una lampada a scarica genera unicamente armoniche di corrente di ordine 3, 5, 7, 9, 11 e 13. Le armoniche di corrente di ordine pari (2, 4, 6...) sono assenti.

Perturbazione degli apparecchi di misura

Gli apparecchi di misura ad indice di tipo ferromagnetico (amperometri, voltmetri...) sono concepiti per misurare delle grandezze sinusoidali ad una frequenza specifica (di solito 50-60 Hz). Lo stesso avviene per gli apparecchi digitali diversi dagli apparecchi campione. Questi apparecchi hanno una misura falsata in caso di segnale non sinusoidale cioè deformato dalle armoniche (vedere esempio qui sotto).

Solamente gli apparecchi che misurano i valori in vero RMS (o valore efficace) integrano le componenti del segnale e danno il valore efficace reale (esempio: il DIRIS).



Perturbazione della misura

Esempio:

Il segnale 1 è perturbato dalla presenza di un'armonica del 3° ordine. Il valore efficace di una sinusoide dello stesso valore del picco sarà:

$$\frac{100 \text{ A}}{\sqrt{2}} = 70 \text{ A}$$