

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO Dipartimento di Informatica e Ingegneria delle Infrastrutture | SEELAB Smart Energy Laboratory | SMARTENERGY

Seminario
Power Quality: cos'è, come si migliora e come si misura

Power Quality e Norma CEI 64-8

PROF. ING. FRANCESCO GRASSO
FRANCESCO.GRASSO@UNIFI.IT

Snerqia

1

Licenza d'uso



Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 3.0 Italia.

Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/it/> o spedisci una lettera a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO Dipartimento di Informatica e Ingegneria delle Infrastrutture | SEELAB Smart Energy Laboratory

2

Sommario

- Il fabbisogno energetico
- Cos'è la Power Quality
- Le cinque "qualità" dell'energia
- Possibili conseguenze di una bassa Power Quality
- Norma CEI 64-8
- Accenno soluzioni tecnologiche per migliorare la Power Quality
- Smart Energy Lab
- Incentivi e detrazioni

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO Dipartimento di Informatica e Ingegneria delle Infrastrutture | SEELAB Smart Energy Laboratory

3

IL SOGGETTO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
DINIFO
SEELAB

4

4

L'Energia Elettrica

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
DINIFO
SEELAB

5

5

L'Energia Elettrica

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
DINIFO
SEELAB

6

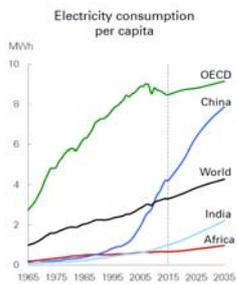
6

Perchè parlare di elettricità

The world economy continues to electrify, with nearly two-thirds of the increase in global energy going into the power sector.

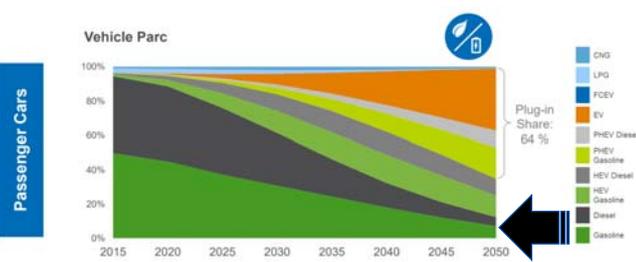


Bob Dudley
Group chief executive



7

Perché parliamo tanto di energia elettrica?



8

IL problema

IL PROBLEMA
(600×10^{18} J)

600 miliardi di miliardi di joule
energia consumata ogni anno nel mondo

9

Quanta energia consumiamo ?

600	$\times 10^{18}$ J (exajoule)
568,25	$\times 10^{15}$ BTU (quad)
166,7	$\times 10^{12}$ kWh
143,30	$\times 10^{18}$ cal (exacalorie)

10

Quanta energia consumiamo ?



600 EJ = 900.000 miliardi di cappuccini + brioche

11



12

World Scientists' Warning of a Climate Emergency

Francesco Grasso - grasso@unifi.it

William J. Ripple, Christopher Wolf, Thomas W. Ronzano, Phoebe Barnard, William J. Ripple, Author Notes

BioScience, 2019, https://doi.org/10.1093/biosci/biz016

Published: 05 November 2019

PDF | Light View | Cite | Permissions | Share

Issue Section: viewpoint

Scientists have a moral obligation to clearly warn humanity of any catastrophic threat and to "do it like it's hot." On the basis of this obligation and the graphical indicators presented below, we declare, with over 11,000 scientist signatures from around the world, clearly and unequivocally that planet Earth is facing a climate emergency.

Exactly 47 years ago, scientists from 16 nations met at the First World Climate Conference (in Geneva 1972) and agreed that alarming trends for climate change made it urgently necessary to act. Since then, similar climate have been made through the 1992 Rio Summit, the 1997 Kyoto Protocol, and the 2015 Paris Agreement, as well as scores of other global summits and scientific expert meetings of insufficient progress (Ripple et al. 2015). The greenhouse gas (GHG) emissions are still rapidly rising, with increasingly damaging effects on the Earth's climate. An increase in scale in readiness to reverse our trajectory is needed to avoid avoid suffering due to the climate crisis (IPCC 2018).

BioScience's Impact Factor increased to 6.591

New Alerts

Email alerts

Receive issue alert

Receive article alert

Receive activity alert

Receive exclusive offers and updates

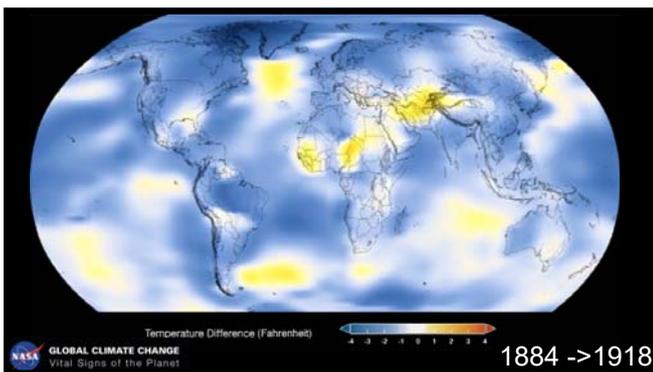
View linked profiles

Related articles in

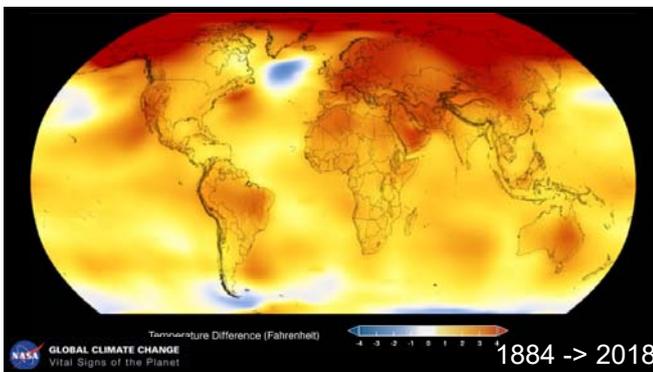
UNIVERSITA' DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO | SEELAB

13

13



14



15

$600 \times 10^{18} \text{ J}$

$54 \times 10^{24} \text{ J}$

UNIFA SEELAB

16

$54.000.000 \times 10^{18} \text{ J}$

54 milioni di miliardi di miliardi di joule
energia ricevuta ogni anno dal sole

UNIFA SEELAB

17

$600 \times 10^{18} \text{ J}$

$54.000.000 \times 10^{18} \text{ J}$

UNIFA SEELAB

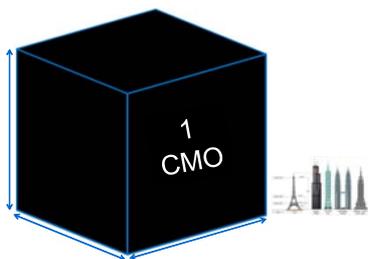
18

Quanta energia consumiamo ?

600	$\times 10^{18}$ J (exajoule)
14,5	$\times 10^9$ Ton. Eq. di Petrolio
19,6	$\times 10^9$ Ton. Carbone (antracite)
15,9	$\times 10^{12}$ metri cubi di gas naturale
8,91	$\times 10^3$ Ton. di Uranio
3,93	CMO (cubic mile of oil)

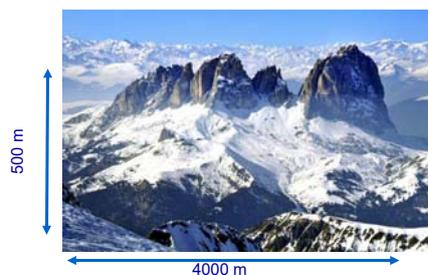
19

QUANTO E' Un Miglio cubico di petrolio?

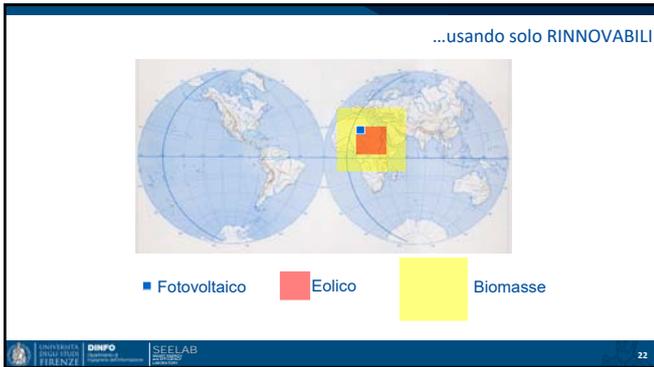


20

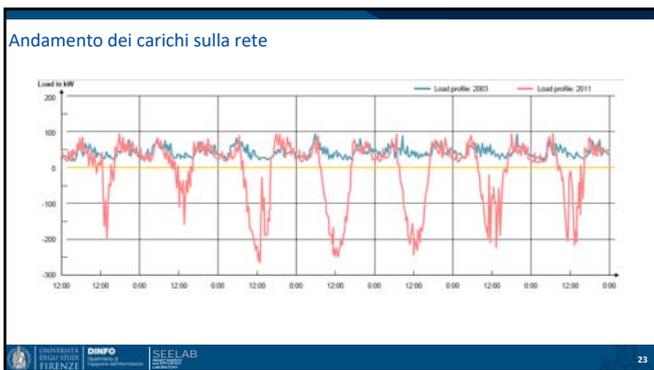
Il Massiccio della Marmolada



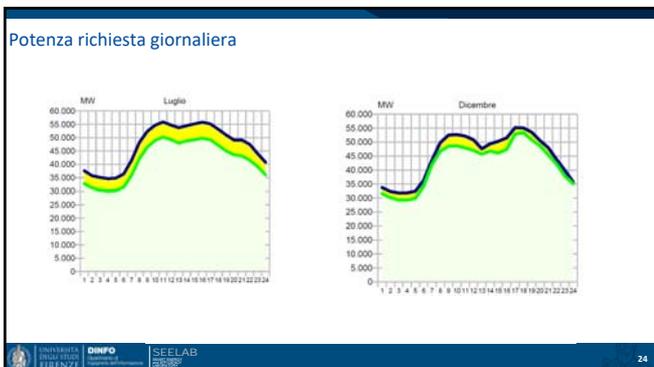
21



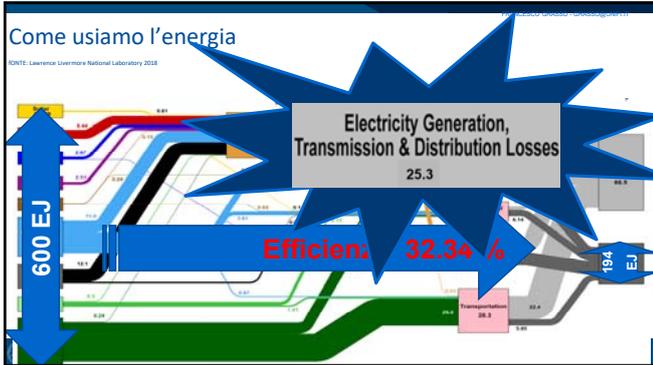
22



23



24



25

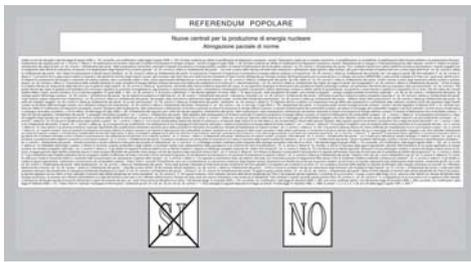


26



27

12 E 13 giugno 2011: Referendum sul nucleare



28

14 giugno 2011: certificazione dei risultati



29

15 giugno 2011

Avviso al pubblico



AVVISO PUBBLICO DI AVVIO DI PROCEDIMENTO per il riesame di Autorizzazione Integrata Ambientale, ai sensi dell'art. 29-octies, comma 4, del decreto legislativo 29 giugno 2010, n. 128.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, su proposta della Regione Toscana ha avviato in data 08 giugno 2011 il procedimento amministrativo per il riesame, ai sensi dell'art. 29-octies, comma 4, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, della

Autorizzazione Integrata Ambientale (DVA/DIC 2010/0000501) del 06 agosto 2010 per l'esercizio da parte della società ENEL Produzione SpA, della centrale termoelettrica, da circa 1280 MW elettrici, alimentata ad olio combustibile, localizzata nel comune di Piombino in Località "Torre del Sale".

30

Piombino «TORRE del Sale» – 1280 MW



31

Facciamoci i conti in tasca...

- Consumo stand-by: $10\text{ W} \cdot 24\text{h} = 240\text{ Wh}$ al giorno per ogni abitazione
 - N. di abitazioni in Italia: 30.000.000 + o –
 - Perdite giornaliere: 7.2 GWh
 - Perdite annuali: 2.638 GWh
- Ovvero, circa l'1% dell'energia consumata serve per tenere accesi i diodi led di televisori e caricatori.....
- Inoltre
- $10\text{ W} \cdot 30.000.000 = 300\text{ MW}$
- ...una centrale termoelettrica è accesa giorno e notte per niente!!!

32

Centrale termoelettrica Santa Barbara - Cavriglia



Centrale a ciclo combinato
a gas metano

Potenza produttiva
340 MW

33



Come ci siamo arrivati?

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB

34

Due civiltà evolute



Havalsey Church, Groenlandia

Isola di Pasqua

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB

35

Chad: The Aboubakar family of Breidjing Camp
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO: 685 CFA Francs or \$1.23



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB

36

Ecuador: The Ayme family of Tingo
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO : \$31.55



37

Poland: The Sobczynscy family of Konstancin-Jeziorna
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO : 582.48 Zlotys or \$151.27



38

Mexico: The Casales family of Cuernavaca
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO : 1,862.78 Mexican Pesos or \$189.09



39

Italy: The Manzo family of Sicily
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO : 214.36 Euros or \$260.11



40

United States: The Revis family of North Carolina
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO: \$341.98



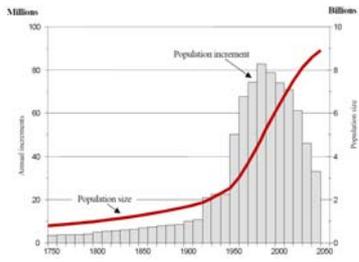
41

Germany: The Melander family of Bargteheide
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO : 375.39 Euros or \$500.07



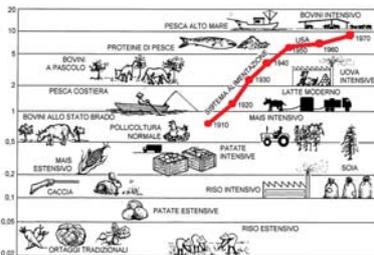
42

Un'idea....



43

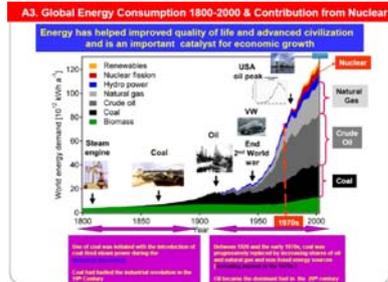
L'impatto sulla produzione alimentare



Calorie aggiuntive a quelle solari per ottenere una caloria di cibo

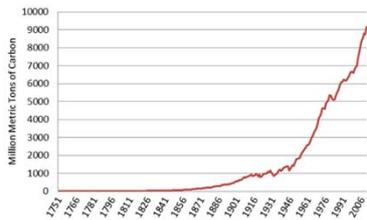
44

L'impatto Sui CONSUMI ENERGETICI



45

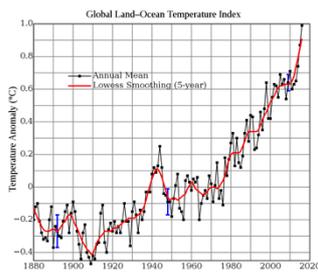
Andamento della CO2



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), 2013, http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview_2010.html

46

L'impatto sulla TEMPERATURA



47

Alcune conseguenze....

- Deforestazione e distruzione degli habitat
- Problemi con il suolo (erosione, perdita di fertilità)
- Gestione risorse idriche
- Sovra-caccia/-pesca
- Invasione di specie non autoctone
- Aumento dell'impatto pro-capite delle persone
- Modifiche al clima
- Immissione di agenti chimici tossici nell'ambiente
- Utilizzo massimo delle capacità fotosintetiche della terra

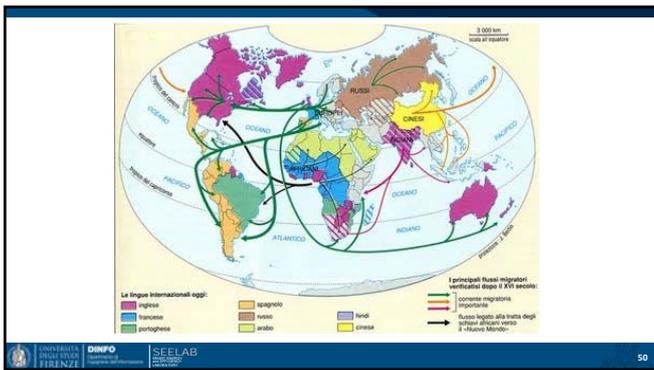


SFRUTTAMENTO ENERGETICO ECCESSIVO

48



49



50



51

L'impronta ecologica

- **Impronta ecologica** è un termine con cui si indica il determinato "peso" che ognuno di noi ha sulla Terra.
- L'**impronta ecologica** è un metodo di misurazione che indica quanto territorio biologicamente produttivo viene utilizzato da un individuo, una famiglia, una città, una regione, un paese o dall'intera umanità per produrre le risorse che consuma e per assorbire i rifiuti che genera.



52

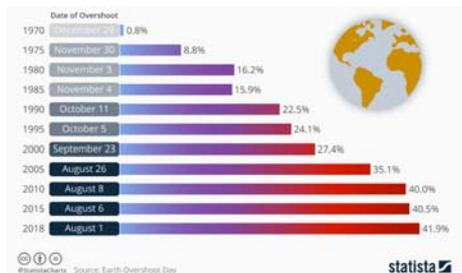
Calcola la tua impronta ecologica



<http://www.footprintcalculator.org/>

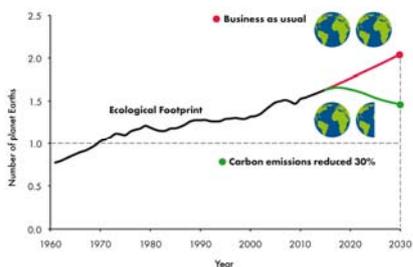
53

Earth Overshoot DAY



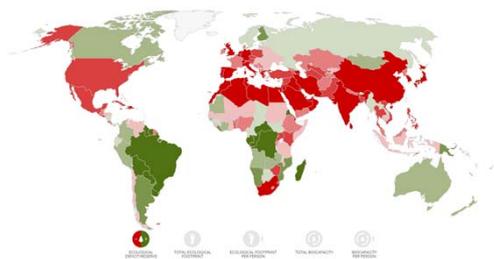
54

QUANTI PIANETI SERVONO PER CONSENTIRE LE ATTIVITA' UMANE?



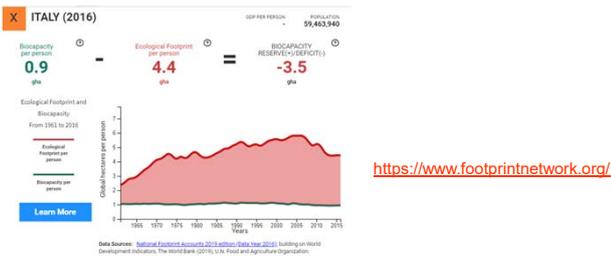
55

Impronte ecologiche nel mondo



56

Ecological Footprint – ITALIA



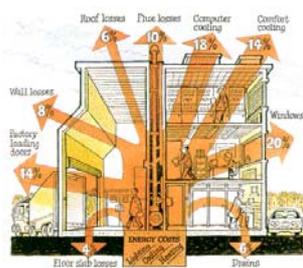
57

DOVE SPRECHIAMO



58

Casa....o tenda



59

I rifiuti



60

Trasporti



61

Proverbo saudita

- Mio padre cavalcava un cammello.
- Io guido un'auto.
- Mio figlio pilota un aereo a reazione.
- ..Suo figlio cavalcherà un cammello.

62



63



64



65



66



67



68

IL 4 OTTOBRE 2009...

Alto Adige, autarchia energetica grazie ai boschi e all'acqua

di Cristina Di Stefano - laProvincia autonoma trentina è stata per la prima volta amministrata di fatto fossile entro il 2020. In provincia autonoma, l'energia è prodotta e consumata.

DOBBIACO. In vista della conferenza sui cambiamenti climatici di Copenhagen, le regioni alpine giocano la carta dell'autarchia energetica. Al vertice di tutti gli effetti la leadership è stata vinta da Alto Adige che ha annunciato oggi a Cortina, in Dolomiti, storico evento di dialogo culturale e scientifico sull'energia che ha preso il via nella località albanese, che la Provincia intende elevare a festival di beni fossili entro il 2020.

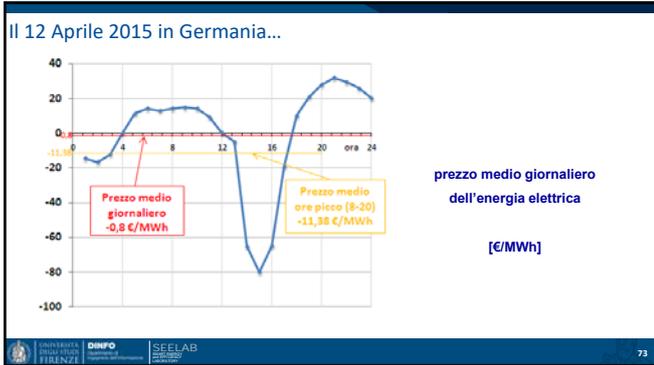
Attualmente abbiamo già un bilancio energetico che evidenzia che il 16% del fabbisogno energetico è coperto utilizzando fonti rinnovabili - spiega l'assessore all'ambiente e energia della Provincia autonoma, Marco Lantini - il nostro piano è quello di raggiungere il 70% nel 2013 e il 100% entro il 2020. Per fare un raffronto nel 2008, la quota delle rinnovabili di energia era al 10,8%, in Portogallo al 28,8%, in Austria al 23,2%, in Germania al 14 e in Italia al 5,2%.

Il consumo energetico in Provincia di Bolzano è costituito per il 22% da elettricità, integralmente coperta dalla produzione idroelettrica (100 centrali) in tutto, 784 da 220 kWh, 116 da 220-3000 kWh e 30 oltre 2000 kWh per una produzione netta superiore del 10% alle esigenze locali e per il 17% da domanda termica coperta al 27% con le rinnovabili e il 44% dalla fonti fossili che Alto Adige vorrebbe integralmente entro il 2013.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB

69

69



73



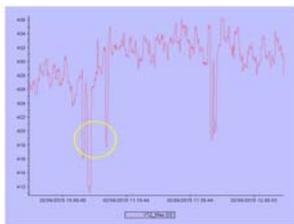
74

COS'È LA POWER QUALITY

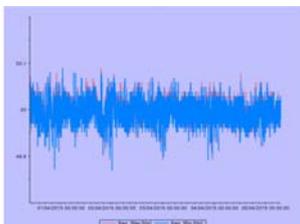
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB

75

Cosa comporta una grande richiesta di energia elettrica?



Andamento della tensione di rete



Andamento della frequenza di rete

76

Che cos'è la Power Quality?

- I disturbi dell'alimentazione elettrica, sia transitori che stazionari, sono sempre più diffusi.
- Interruzioni brevi e lunghe, micro-interruzioni e buchi di tensione, sovratensioni e sovracorrenti impulsive, armoniche e squilibri di corrente e tensione, flicker, ecc. **possono condizionare anche significativamente, nei casi più gravi, il corretto funzionamento dei componenti d'impianto fino a compromettere il normale iter del processo energetico o produttivo interessato.**
- *Per Power Quality (PQ) si intende la capacità di un sistema o di un dispositivo elettrico di operare correttamente in un ambiente elettromagnetico senza l'introduzione di disturbi elettromagnetici intollerabili per gli altri dispositivi presenti nell'ambiente.*



77

Le Cinque «Qualità»

- Qualità della tensione o Voltage Quality
- Qualità della corrente o Current Quality
- Qualità dell'energia o Power Quality
- Qualità dell'alimentazione o Supply Quality
- Qualità dell'utenza o Consumption Quality



78

Quanto costa una bassa Power Quality

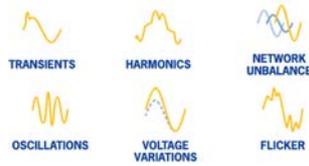
- Considerati i fenomeni presenti dietro una bassa PQ, la stima dei costi è estremamente complessa.
- In alcuni casi (armoniche, buchi di tensione, potenza reattiva) è possibile ottenere dei valori molto precisi.
- In altri casi (flicker, oscillazioni, transienti) la stima dei costi può essere effettuata solo dopo una attenta analisi del sistema. Ciò che è certo, è che ci sono comunque dei costi.



79

Quanto costa una scarsa Power Quality

- I disturbi dovuti ad una scarsa Power Quality comportano costi legati direttamente all'energia non trasformata in lavoro e costi dovuti alle conseguenze indirette provocate dagli stessi disturbi.
- I disturbi incidono infatti su:
 - regolarità di funzionamento;
 - interruzione della produzione;
 - degrado dei componenti;
 - rotture dei componenti;
 - frequenza delle manutenzioni;
 - danni commerciali.

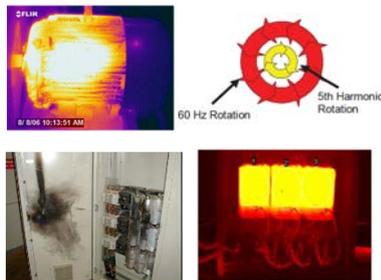


80

I costi delle armoniche

Uno studio della Canadian Electrical Association ha dimostrato che una tensione di alimentazione con THD pari al 10% causa una diminuzione della durata di vita:

- del 32,5% per gli apparecchi monofase
- del 18% per quelli trifase
- del 5% per i trasformatori



81

La Power Quality è un *business problem*

Secondo Electric Light and Power Magazine, il 30 ÷ 40 per cento del tempo di inattività di tutte le aziende è correlato a problemi di qualità dell'alimentazione ...



82

Buchi di tensione sulla rete MT dal 30/10/2017 al 4/11/2018 (EN50160)

Durata Media			Numero medio di Buchi di Tensione per durata					
Tensione residua [%]	Numero di buchi	Durata media [s]	Durata buchi					
			Tensione residua [%]	20-200 ms	200-500 ms	500-1000 ms	1-5 s	5-60 s
80...90	707	0.092	80...90	68.7	3.4	0.7	0.1	0
70...80	198	0.134	70...80	17.8	2.1	0.5	0	0
40...70	213	0.173	40...70	16.4	5.4	0.2	0	0
5...40	95	0.172	5...40	7.9	1.6	0.1	0.1	0
1...5	4	0.26	1...5	0.3	0	0.1	0	0

83

I costi dei buchi di tensione

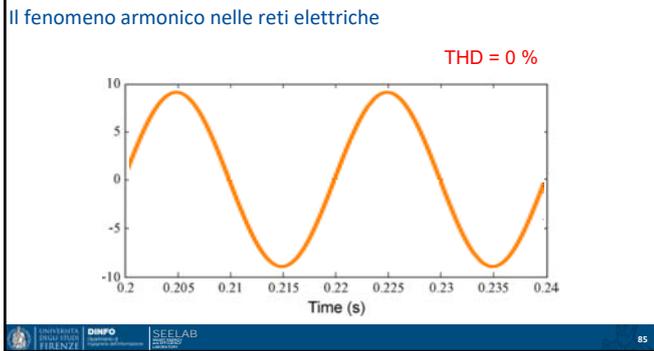
Il Value of Customer Reliability (VCR) rappresenta il costo per ogni kWh non utilizzato a causa dei buchi di tensione da parte di diverse tipologie di utenti.

Business customers			
Sector	Agriculture	Commercial	Industrial
VCR (\$/kWh)	47.67	44.72	44.06

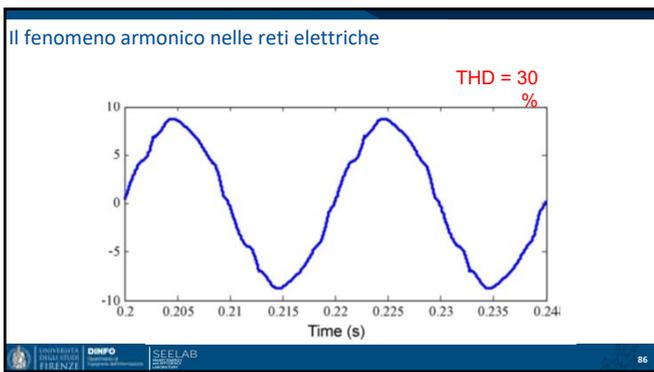
Directly-connected customers				
Sector	Weighted Avg	Metals	Wood, pulp, paper	Mining
VCR (\$/kWh)	6.05	5.29	1.44	14.96

Customer type	Customer group VCR (\$/kWh)
Residential	24.76

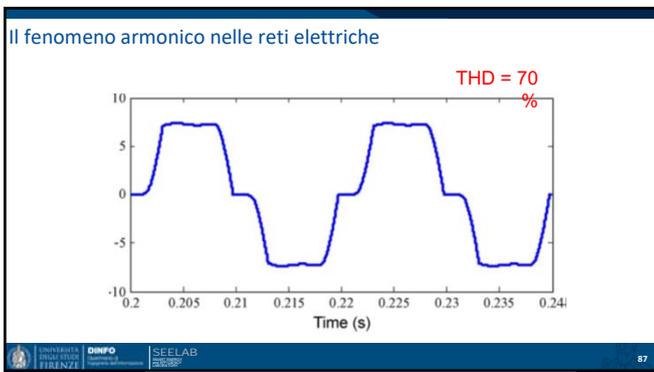
84



85

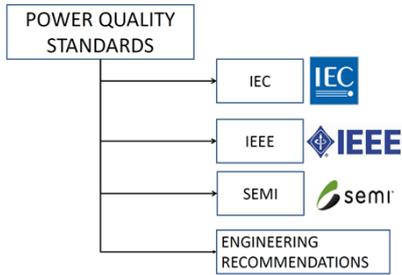


86



87

Gli standard



89

Gli standard

- IEEE P1366 Guide for Electric Distribution Reliability Indices.
- IEEE 1100 Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment,
- IEEE 1159 Recommended Practice For Monitoring Electric Power Quality
- IEEE 519 Harmonic mitigation
- IEC 60364 Electrical Installations of Buildings
- IEC 61000-2-X EMC
- IEC 61000-3-X EMC
- IEC 61000-4-X EMC
- SEMI STD SEMI F42/47/49/50
- ENGR Engineering Recommendation
- EN 50160 Electromagnetic Environment

90

Energia e Potenza

- L'energia E è la **grandezza fisica** che misura la capacità di un **corpo** o di un **sistema fisico** di compiere **lavoro**, a prescindere dal fatto che tale lavoro possa o non possa essere effettivamente svolto.
- Una precisa definizione di **energia** non è semplice da fornire.
- L'energia non ha alcuna realtà materiale ma è piuttosto un concetto matematico astratto che esprime un vincolo rispetto ai processi possibili e una simmetria temporale delle leggi fisiche.

91

Energia e Potenza

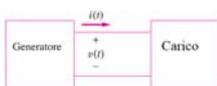
- Tuttavia, **in ambito tecnologico** l'energia permette, tramite il suo sfruttamento, la trasformazione di **materie prime** in prodotti o **beni** finali oppure consente la fornitura di servizi utili all'uomo e alla società.
- L'**unità di misura** per l'energia è il **joule** (simbolo: **J**), ma è più noto il **kilowattora** (simbolo: **kWh**) che corrisponde a **3.600.000 J** (60 secondi x 60 minuti x 1.000)
- La **potenza P** è definita operativamente come l'**energia E** trasferita nell'unità di tempo **t**. Viene anche utilizzata per quantificare l'energia prodotta o utilizzata da un **sistema fisico**.
- L'**unità di misura** per la potenza è il **watt** (simbolo: **W**) ed è pari ad **J/s**.

92

Potenza istantanea e media

Potenza istantanea

$$p(t) = v(t)i(t)$$



La **potenza istantanea** (in watt) è il valore della potenza in un certo istante di tempo.

Potenza media

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt$$

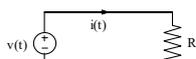
La **potenza media** è il valor medio della potenza istantanea su un periodo.

93

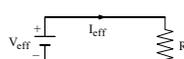
Il valore efficace

- Nasce dalla necessità di esprimere quantitativamente l'efficacia con la quale un generatore di tensione o di corrente fornisce potenza ad un carico

Il **valore efficace** di una corrente periodica è la corrente costante in grado di fornire ad un resistore la stessa potenza della corrente periodica.



$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt = \frac{R}{T} \int_0^T i^2 dt$$



$$P = I_{eff}^2 R$$

94

Il valore efficace

Uguagliando le precedenti e risolvendo rispetto a I_{eff} si ottiene:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

Analogamente si trova:

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt}$$

In generale, considerando la definizione anglosassone di valore efficace, *rms*, si ha:

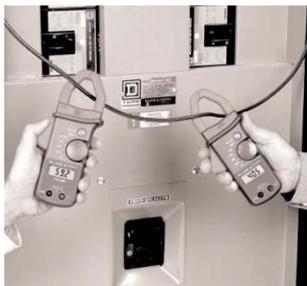
$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt}$$

In regime sinusoidale

$$X_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} X_M$$

95

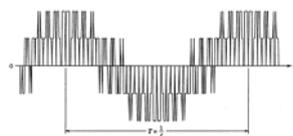
Il «vero» valore efficace – True RMS



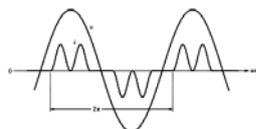
96

Steady-state non sinusoidale

inverter



raddrizzatore



97

Analisi di Fourier o Analisi armonica

Si consideri una funzione periodica di periodo T:

$$f(t) = f(t + nT)$$

allora:

$$f(t) = \underbrace{\frac{a_0}{2}}_{\text{componente continua}} + \underbrace{a_1 \cos(\omega t) + b_1 \sin(\omega t)}_{\text{armonica fondamentale}} + \underbrace{\sum_{n>1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]}_{\text{armoniche successive}}$$

dove

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \text{ è il doppio del valor medio}$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) d(t) \quad n = 1, \dots, \infty$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) d(t) \quad n = 1, \dots, \infty$$

98

Analisi di Fourier o Analisi armonica

Ovvero, in forma compatta:

$$f(t) = \underbrace{F_{dc}}_{\text{componente continua}} + \underbrace{F_1 \cos(\omega t - \theta_1)}_{\text{armonica fondamentale}} + \underbrace{\sum_{n>1}^{\infty} F_n \cos(n\omega t - \theta_n)}_{\text{armoniche successive}}$$

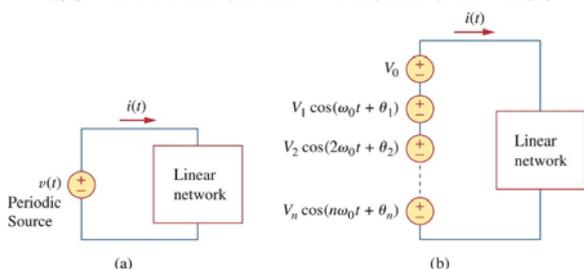
$$F_{dc} = \frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$F_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad n = 1, \dots, \infty \quad \theta_n = \arctan \frac{b_n}{a_n} \quad n = 1, \dots, \infty$$

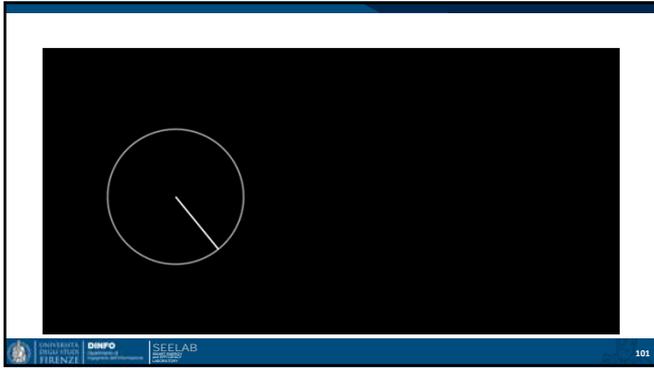
99

Analisi di Fourier o Analisi Armonica

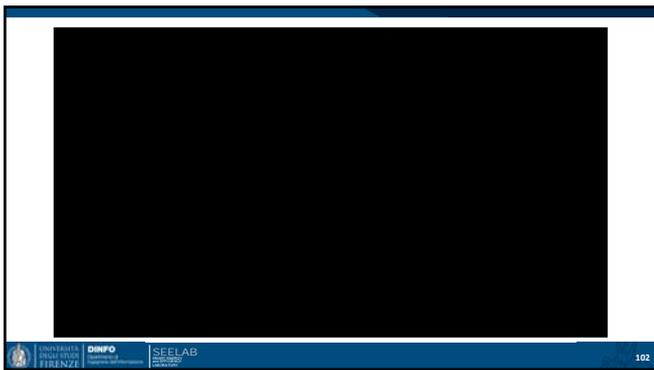
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



100



101



102

Potenza in regime distorto

Fondamentale (50Hz): 50A

Corrente distorta (50Hz):

The slide includes logos for 'UNIVERSITA' DEGLI STUDI FIRENZE', 'DINFO', and 'SEELAB' at the bottom.

103

Richiamando il classico rifasamento...



104

... per analogia



105

Il valore efficace in regime distorto

Allora è possibile calcolare valore efficace come:

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left[F_{dc}^2 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} F_{dc} F_n \cos(n\omega t + \theta_n) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} F_n F_m \cos(n\omega t + \theta_n) \cos(m\omega t + \theta_m) \right] dt}$$

poiché i termini dell'integrale misto sono non nulli solo per n=m si ha:

$$F_{rms} = \sqrt{F_{dc}^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} F_n F_m \frac{1}{T} \int_0^T \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \cos(m\omega_0 t + \theta_m) dt}$$

$$F_{rms}^2 = F_{dc}^2 + \frac{1}{2} F_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{n>1} F_n^2$$

106

Potenza media in regime distorto

Per quanto detto prima:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V_{dc} I_{dc} dt + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \varphi_n) =$$

$$= \underbrace{V_{dc} I_{dc}}_{\text{potenza continua}} + \underbrace{V_{1,rms} I_{1,rms} \cos(\theta_1 - \varphi_1)}_{\text{potenza fondamentale}} + \underbrace{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n,rms} I_{n,rms} \cos(\theta_n - \varphi_n)}_{\text{potenza armonica}}$$

Teorema di Parseval:

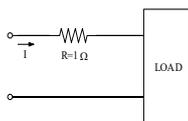
Data una resistenza da 1Ω , attraversata da una corrente i periodica rappresentabile in forma di Fourier, allora la potenza dissipata dalla resistenza vale:

$$P_{1\Omega} = I_{rms}^2 = I_{dc}^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 = I_{dc}^2 + I_{1,rms}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{n,rms}^2$$

109

Esempio

- Si consideri un carico che assorbe una corrente di 1 A alimentato da una linea con resistenza di perdita pari a 1Ω .



- Se si suppone che per far funzionare correttamente il carico sia sufficiente la sola componente fondamentale, allora le perdite sulla linea sono pari a 1 W .
- Per ridurre queste perdite, o si interviene sulla resistenza di linea (**difficile**) o si interviene sulla corrente del carico (**impossibile senza modifiche sostanziali del carico**).

110

Esempio

- Si supponga ora che, per cause varie, sulla linea, oltre alla corrente fondamentale da 1 A siano presenti anche le componenti **armoniche terza, quinta e settima** con ampiezze pari all'inverso dell'ordine armonico.
- A causa delle armoniche, il valore efficace della corrente che circola sulla linea vale:

$$I = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2} \approx 1.0824 \text{ A}$$

e, per Parseval, la potenza dissipata sulla linea vale:

$$P_{1\Omega} = I^2 = 1^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2 = 1.1715 \text{ W}$$

111

Esempio

Questo aumento indesiderato del valore efficace della corrente, dovuto alle armoniche introdotte dal carico, produce un aumento delle perdite sulla linea pari a Δp , rispetto al caso in cui la corrente sia senza armoniche:

$$\Delta p = R(I^2 - I_1^2) = [(1.0824)^2 - (1)^2] \cdot 1 = 0.1715 \text{ W}$$

ovvero

$$\Delta p\% = \frac{\Delta p}{P} \cdot 100 = \frac{0.1715}{1} = 17.15\%$$

Quindi la sola presenza di tre armoniche sulla corrente provoca un aumento della corrente efficace dell'8.24% e un aumento delle perdite sulla linea pari al 17.15%.

112

Esempio

Se si suppone di poter **eliminare la sola VII armonica**, allora si ha:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2} \approx 1.073$$

$$P_{1\Omega} = I^2 = 1^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 = 1.1513 \text{ W}$$

e

$$\Delta p = R(I^2 - I_1^2) = [(1.073)^2 - (1)^2] \cdot 1 = 0.1513$$

ovvero

$$\Delta p\% = \frac{\Delta p}{P} \cdot 100 = \frac{0.1513}{1} = 15.13\%$$

113

Esempio

- In questo modo, a fronte di una riduzione relativa delle perdite pari al **11,78%** (ovvero da 171,5 mW a 151,3 mW), si osserva una riduzione in assoluto pari al **1,73%** (ovvero da 1,1715 W a 1,1513 W).
- Questo risultato può essere generalizzato per ottenere un'espressione che consenta di calcolare la riduzione di perdite in assoluto partendo dalla conoscenza di alcuni parametri della rete elettrica (come il THD e la potenza totale).

114

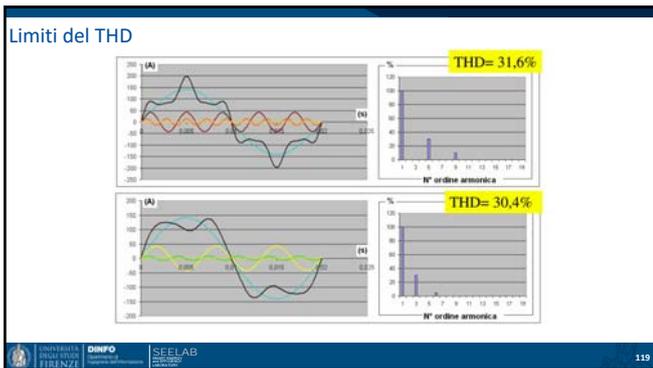
THD - Total Harmonic Distortion

- In questo modo è possibile definire un indice che tenga conto della distorsione della corrente rispetto alla componente sinusoidale fondamentale.
- Il THD, o Total Harmonic Distortion o Indice di Distorsione Armonica Totale è definito come:

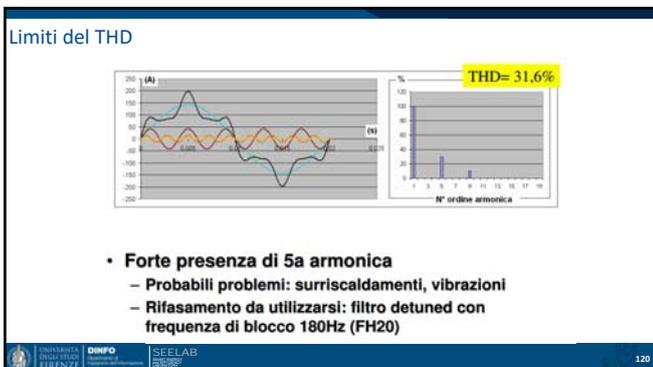
$$THD_1 = \frac{I_{dis}}{I_{s1}} = \frac{\sqrt{I_2^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}} = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} I_{sh}^2}}{I_{s1}}$$

- Di solito è bene indicare l'ordine dell'armonica più alta utilizzata per il calcolo (ad esempio, $THD_{1,7}$ o $THD_{1,11}$):
 - Se $THD_1 = 0$, allora non sono presenti armoniche;
 - Se $THD_1 \leq 1$, allora il valore efficace di tutte le armoniche è uguale o inferiore al valore efficace della fondamentale;
 - Se $THD_1 > 1$, allora il valore efficace di tutte le armoniche supera il valore efficace della fondamentale;

118



119

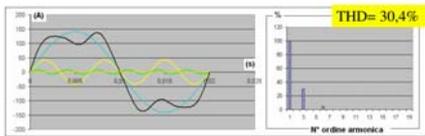


- Forte presenza di 5a armonica
 - Probabili problemi: surriscaldamenti, vibrazioni
 - Rifasamento da utilizzarsi: filtro detuned con frequenza di blocco 180Hz (FH20)

120

Limiti del THD

- Forte presenza di terza armonica
 - Probabili problemi: surriscaldamenti, in particolare del neutro
 - Rifasamento da utilizzarsi: filtro detuned con frequenza di blocco 135Hz (FH30)



121

Ulteriori coefficienti per la distorsione armonica

- Per quanto visto, il solo THD non è sempre sufficiente per caratterizzare completamente l'analisi di potenza in regime distorto. E' quindi possibile definire ulteriori coefficienti.
- Il fattore di cresta (crest factor o CF) è utile in diverse applicazioni ed indica il rapporto tra il valore massimo ed il valore efficace:

$$CF = \frac{I_{sM}}{I_s}$$

- Il fattore di forma (form factor FF) è il rapporto tra il valore efficace e il valor medio su un semiperiodo:

$$FF = \frac{I_s}{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} i_s(t) dt}$$

122

Potenza apparente e fattore di potenza

- La potenza apparente corrisponde alla potenza che verrebbe assorbita da un circuito se ci si trovasse in regime stazionario e la tensione e la corrente fossero pari ai rispettivi valori efficaci. Si misura in volt-ampere (VA) ed è definita come:

$$S = V_{rms} I_{rms}$$

- Il Fattore di Potenza (PF) fornisce una misura dell'effettivo utilizzo della potenza attiva nel sistema ed inoltre rappresenta una misura della distorsione della tensione e della corrente di linea a lo sfasamento tra loro. E' definito come:

$$PF = \frac{\text{Potenza Attiva}}{\text{Potenza Apparente}} = \frac{P}{S}$$

123

Potenza media

- La potenza media, che convenzionalmente rappresenta la potenza attiva, è definita come:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v_s(t) i_s(t) dt =$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2} V_s \sin \omega_1 t \cdot \sqrt{2} I_{s,1} \sin(\omega_1 t - \varphi_1) dt = V_s I_{s,1} \cos \varphi_1$$

in quanto l'integrale su un periodo di un prodotto incrociato è nullo, alla potenza attiva non contribuiscono le componenti armoniche superiori alla prima.

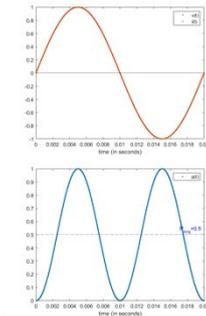
- La potenza attiva, nel caso di sola corrente con contenuto armonico, è associata alla sola componente fondamentale.

124

Potenza media

Tensione e corrente sinusoidali

- In questo caso la tensione e la corrente sono sinusoidali e isofrequenziali.
- Il valore efficace di entrambe le grandezze è identico e pari a $\frac{1}{\sqrt{2}}$ quindi stessa potenza apparente.
- Il calcolo della potenza media porta ad ottenere il valore di 0.5 W.

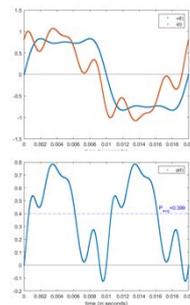


125

Potenza media

Tensione e corrente distorti

- La tensione e la corrente sono entrambi distorte.
- Le componenti fondamentali sono isofrequenziali.
- Anche in questo caso, il valore efficace di entrambe le grandezze è ancora identico e pari a $\frac{1}{\sqrt{2}}$.
- Tuttavia, calcolando la potenza media si ottiene un valore pari a 0.399 W.



126

Potenza media

Tensione e corrente sinusoidali

- In questo caso, tensione e corrente sono sinusoidali, ma non isofrequenziali.
- Il valore efficace di entrambe le grandezze è ancora identico e pari a $\frac{1}{\sqrt{2}}$.
- In questo caso, la potenza media che si ottiene è **però nulla**.

UNIVERSITÀ DI FIRENZE | DINFO | SEELAB | 127

127

Gli strumenti di misura...

U _{rms1}	118.12	U _{rms2}	117.94
I _{rms1}	0.1397	I _{rms2}	0.1244
P1	10.57	P2	10.54
A1	0.6406	A2	0.7184

RMS Current Measurement

Channel 1
2 MHz BW

Channel 2
500 kHz BW

UNIVERSITÀ DI FIRENZE | DINFO | SEELAB | 128

128

Fattore di Potenza

- Il fattore di potenza, in qualsiasi regime, è definito come:

$$PF = \frac{P}{S}$$
- In regime sinusoidale puro vale:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_L I_S \cos \varphi}{V_S I_S} = \cos \varphi$$

UNIVERSITÀ DI FIRENZE | DINFO | SEELAB | 129

129

Fattore di potenza

- Il fattore di potenza in qualsiasi regime è definito come:

$$PF = \frac{P}{S}$$

- Nel caso in esame (regime distorto in corrente) vale

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_s I_{s1} \cos \varphi_1}{V_s I_s} = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi_1 = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} = \frac{DPF}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

- Al $\cos \varphi_1$, pari al fattore di potenza in regime sinusoidale, viene assegnato il nome di Displacement Power Factor o DPF:

$$DPF = \cos \varphi_1$$

130

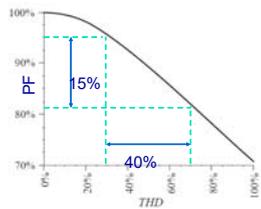
Fattore di Potenza

- Una grossa distorsione armonica porta ad avere bassi valori di PF nonostante alti valori di DPF.

- Infatti:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{DPF}{\sqrt{1 + THD_i^2}} < \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

- Ovviamente è possibile considerare anche il **THD della tensione**, mentre il DPF rimane sempre definito come lo sfasamento tra le armoniche fondamentali di tensione e corrente.



131

UN-Energy Energy Efficiency Cluster

Policies and Measures to realise Industrial Energy Efficiency and mitigate Climate Change



140

EVO Efficiency Valuation Organization

INTERNATIONAL PERFORMANCE MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL®

October 2016
EVO 10000 – 1.2016

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DIMI/O | SEELAB

144

I principi dell'IPMVP

- Accuratezza
 - *bilancio costi/ benefici*
- Coerenza
 - *restituisce risultati analoghi in condizioni diverse*
- Completezza
 - *considera tutti gli effetti, ma misura quelli significativi*
- Prudenza
 - *sottostima il risparmio, se vi è incertezza*
- Pertinenza
 - *misura solo i parametri significativi, stimando gli altri*
- Trasparenza
 - *ripetibile, confrontabile, noto*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DIMI/O | SEELAB

145

Le opzioni

- **OPZIONE A**
 - *Isolamento dell'AMEE con misura delle prestazioni e stipula dei parametri operativi*
- **OPZIONE B**
 - *Isolamento dell'AMEE con misura delle prestazioni e misura dei parametri operativi*
- **OPZIONE C**
 - *Intero impianto/struttura comparazione dei dati dei contatori fiscali*
- **OPZIONE D**
 - *Intero impianto/struttura con una simulazione al computer calibrata*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DIMI/O | SEELAB

146

Definizioni

Misura e Verifica (M&V)

- È il processo di pianificazione, misura, raccolta ed analisi dati il cui scopo è quello di verificare e rendicontare i risparmi energetici risultanti dall'implementazione di un'Azione di miglioramento dell'efficienza energetica all'interno di uno specifico impianto/struttura.

Misura correlata ai consumi energetici (Proxy measurement)

- È un parametro misurato che viene sostituito alla misura diretta di un parametro energetico quando la relazione tra i due è dimostrata in situ.
- Esempio:** Se tra il segnale di output di un inverter e la potenza assorbita dalla ventola controllata dal variatore sussiste una relazione, comprovata grazie a delle misure, allora il segnale di output può essere usato come misura correlata al posto della potenza della ventola.

147

Incertezza

Nelle misure e nelle verifiche è sempre necessario considerare l'incertezza, data da:

- misure,
- campioni
- stime
- modelli

La combinazione di tutte le incertezze porta alla determinazione dell'intervallo di confidenza e, di conseguenza, al limite di confidenza relativo al risparmio misurato.

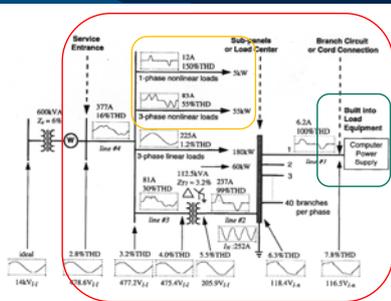
Il livello di confidenza degli strumenti è, di norma, intorno al 95%, mentre il livello "standard" in statistica è il 68,3%.

Per i risparmi è necessario un livello di confidenza che va dal 90% al 95%.

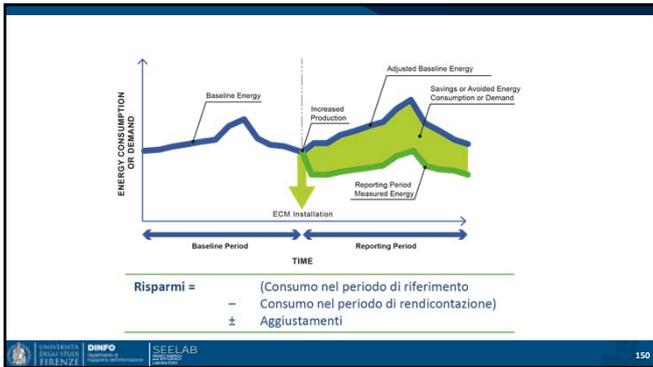
148

Confine di misura

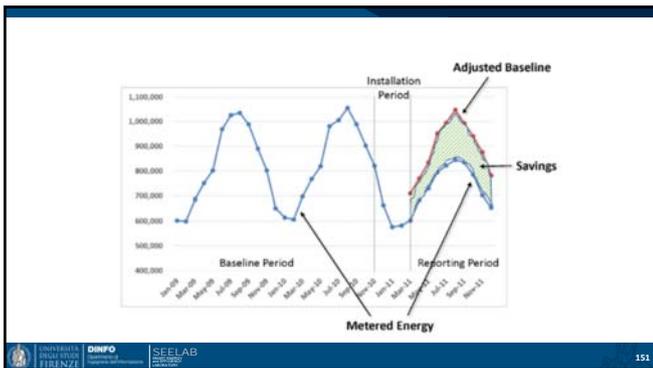
- È un confine di misura teorico tracciato intorno all'apparecchiatura, ai sistemi o all'edificio atto ad isolare gli effetti significativi per la valutazione dei risparmi da quelli che non lo sono. Tutto il *Consumo energetico* e la *Potenza* assorbita delle apparecchiature o dei sistemi all'interno del confine devono necessariamente essere misurati o stimati.



149



150



151

Energy Saving

EPRI
 ELECTRIC POWER
 RESEARCH INSTITUTE

“You can only save energy that is wasted”

Arshad Mansoor and Roger Dugan
 Electric Power Research Institute (EPRI)
 U.S.A.

152

NORMA CEI 64-8;V3:2017



153

Le novità della Norma CEI 64-8

- **PARTE 1 – Generalità**
- 131.7. Protezione contro le sovratensioni e le influenze elettromagnetiche
 - 131.7.3 *“L’impianto deve avere un livello di immunità adeguato contro i disturbi elettromagnetici in modo da funzionare correttamente nell’ambiente specificato”*
- **PARTE 3 –Caratteristiche generali**
- 314.1 Ogni impianto deve essere in genere suddiviso in diversi circuiti, secondo le esigenze, per:
 - ...
 - *Ridurre la possibilità di intervento indesiderato degli RCD per correnti eccessive sul PE;*
 - *Ridurre gli effetti delle interferenze elettromagnetiche.*



154

Le novità della Norma CEI 64-8

- **PARTE 4: Prescrizioni per la sicurezza**
- Sezione 444.0 Protezione contro le interferenze elettromagnetiche
 - *Le interferenze elettromagnetiche (EMI) disturbano o danneggiano i sistemi per le tecnologie di comunicazione e delle informazioni (ICT), per le tecnologie di comunicazione radiotelevisive (BCT), di comando, controllo e comunicazione degli edifici (CCCB), controllo, comando e automazione dei processi (PMCA). Le correnti dovute a fulmini, manovre, cortocircuiti e altri fenomeni elettromagnetici possono causare sovratensioni ed interferenza elettromagnetiche.*
- Sezione 444.1 Campo di applicazione
 - *L’applicazione delle misure di compatibilità elettromagnetica (EMC) descritte nella presente Norma può essere considerata parte di una buona pratica di progettazione per ottenere la compatibilità elettromagnetica degli impianti fissi come richiesto dalla Direttiva EMC 2004/108/CE.*



155

Le novità della Norma CEI 64-8

- **PARTE 5: Scelta ed installazione dei componenti elettrici**
- Significativo risalto alle problematiche relative alle correnti armoniche nei circuiti.
 - *nuova formulazione degli articoli 523.5.1, 523.5.2, 524.2 relativi alle prescrizioni per le correnti armoniche relativamente a:*
 - *Numero di conduttori sotto carico*
 - *Sezione dei conduttori*
 - *524.3 Quando gli apparecchi utilizzatori producano correnti armoniche di forte valore, la sezione del conduttore di neutro non deve essere inferiore a quella dei conduttori di fase, anche se le potenze degli apparecchi utilizzati sono ripartite in modo uniforme tra le diverse fasi.*
 - *Effetti delle correnti armoniche sui sistemi trifase equilibrati, Allegato 52 A normativo*

156

Le novità della Norma CEI 64-8;V3

- **PARTE 5: Scelta ed installazione dei componenti elettrici**
- 533.2.2 Prescrizioni supplementari per la protezione contro i sovraccarichi in presenza di correnti armoniche
 - *Un dispositivo di protezione contro i sovraccarichi deve essere in grado di funzionare correttamente in presenza di correnti armoniche. Quando il contenuto armonico nel conduttore di neutro in un circuito trifase può superare il valore considerato nel progetto del circuito, si deve prevedere per questo conduttore un sistema in grado di rilevare i sovraccarichi...*
 - *...Conformemente a 524.2, si dovrebbe effettuare un dimensionamento adeguato dei conduttori di neutro tenendo conto degli effetti delle correnti armoniche.*
 - *NOTA Altri mezzi, quali i filtri, possono essere usati per attenuare gli effetti delle correnti armoniche*

157

Le novità della Norma CEI 64-8;V3

- **PARTE 5: Scelta ed installazione dei componenti elettrici**
- 551.5.2 Quando un gruppo generatore sia destinato a funzionare in parallelo con un'altra sorgente di alimentazione... **le correnti armoniche** che circolano devono essere limitate in modo che non sia superata la sollecitazione termica sopportabile dai conduttori.
 - *Gli effetti delle correnti armoniche di circolazione possono essere limitati mediante:*
 - *scelta dei gruppi generatori con avvolgimenti compensati;*
 - *un'impedenza idonea nel collegamento con il centro stella del generatore;*
 - *interuttori che interrompano il circuito di circolazione ma siano interbloccati in modo che, in qualsiasi momento, la protezione contro i contatti indiretti non sia compromessa;*
 - *apparecchiature filtranti;*
 - *altri mezzi idonei.*

158

Le novità della Norma CEI 64-8;V3

- **PARTE 5: Scelta ed installazione dei componenti elettrici**
- **559 Apparecchi e impianti di illuminazione**
- 559.3 Prescrizioni generali per l'installazione
- *Durante l'installazione degli apparecchi di illuminazione, si devono prendere in considerazione almeno i seguenti punti:*
 - *la corrente di inserzione;*
 - *le correnti armoniche;*
 - *la compensazione;*
 - *la corrente di dispersione;*
 - *la corrente di innesco;*
 - *la resistenza ai buchi di tensione*

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DIMFO | SEELAB | 159

159

**LA NORMA CEI 64-8/8-1:
EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI IMPIANTI
ELETTRICI**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DIMFO | SEELAB | 160

160

- La norma recepisce nel panorama italiano la nuova edizione della norma europea IEC Standard 60364-8-1:2019 del 6 febbraio 2019.
- Lo scopo della norma è dare indicazioni per ottimizzare l'utilizzo dell'energia elettrica necessaria per svolgere un servizio, un'attività o una funzione specifica, tenendo conto delle necessità degli utenti, del profilo del carico da alimentare, delle tariffe dell'energia elettrica e della disponibilità di un eventuale accumulo dell'energia generata.
- Le indicazioni concernenti la stesura di un progetto elettrico riguardano in particolare la **minimizzazione delle perdite di energia nell'impianto** mediante la posizione ottimale della cabina MT/BT (trasformatore), dei quadri di distribuzione e dell'eventuale gruppo di generazione di energia (baricentro) nonché la riduzione delle perdite nelle condutture.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DIMFO | SEELAB | 161

161

Classificazione energetica degli impianti

Sector of activity	EEPL0	EEPL1	EEPL2	EEPL3	EEPL4
Residential buildings (dwellings)	No consideration	No consideration	No consideration	No consideration	No consideration
Commercial	No consideration	80 % of annual consumption can be split between usages (lighting, HVAC, process, etc.)	90 % of annual consumption can be split between usages (lighting, HVAC, process, etc.)	95 % of annual consumption can be split between usages (lighting, HVAC, process, etc.)	99 % of annual consumption can be split between usages (lighting, HVAC, process, etc.) and between zones
Industrial	No consideration	80 % of annual consumption can be split	90 % of annual consumption can be split	95 % of annual consumption can be split	99 % of annual consumption can be split

Minimum Requirement for Distribution of Annual Consumption

165

Electrical Installation Efficiency Classes

Total for dwellings	Total except for dwellings	Electrical installation efficiency class (EIEC)
<20	<16	EIEC0
<28	<26	EIEC1
<36	<36	EIEC2
<44	<48	EIEC3
<50	<58	EIEC4



166

- I provvedimenti di cui sopra **possono far lievitare il costo di costruzione dell'impianto**, pertanto occorre informare adeguatamente il committente al fine di scegliere quali provvedimenti applicare dopo aver calcolato il tempo di ammortamento delle eventuali maggiori spese.
- Quasi sempre viene scelto l'impianto con il costo di installazione più basso, trascurando i costi futuri di utilizzazione dell'impianto, mentre spesso a conti fatti conviene commissionare un impianto con classe di efficienza più elevata, che **generalmente risulta economicamente più vantaggioso già dopo pochi anni di esercizio**.

167

**SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER IL
MIGLIORAMENTO DELLA POWER QUALITY**

UNIVERSITÀ DI FIRENZE **DIINFO** **SEELAB**

168

168

Tecniche di mitigazione delle armoniche

- **Passive Shunt and Series Compensation**
- Active Shunt Compensation
- Active Series Compensation
- Unified Power Quality Compensators
- Passive Power Filters
- Shunt Active Power Filters
- Series Active Power Filters
- Hybrid Active Power Filters

+

+

-

UNIVERSITÀ DI FIRENZE **DIINFO** **SEELAB**

169

169

L'apparato E-Power




UNIVERSITÀ DI FIRENZE **DIINFO** **SEELAB**

170

170

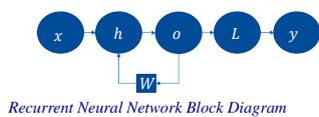
Power Quality e Machine Learning

- Tutte le strategie di identificazione, classificazione e mitigazione dei disturbi legati alla Power Quality prevedono l'acquisizione e l'elaborazione di segnali di corrente e tensione estratti dalla rete.
- La fase di elaborazione dei segnali può essere condotta mediante l'utilizzo di varie tecniche come ad esempio la **Wavelet Transform**, la **Particle Swarm Optimization**, specifiche applicazioni del **filtro di Kalman** e **algoritmi di Machine Learning**.
- Il Machine Learning è la capacità di un algoritmo di imparare dall'esperienza, attraverso l'apprendimento automatico da dati simulati o reali, senza modelli matematici ed equazioni predeterminate, consentendo di ottimizzare i parametri prestazionali di un sistema.
- Alla base del machine learning ci sono i dati, il software e l'hardware che, opportunamente combinati, creano **modelli predittivi** (non di prevenzione), per prendere decisioni riguardo l'immediato futuro, o **modelli descrittivi**, per ottenere tutte le informazioni relative allo stato attuale.

171

Reti neurali ricorrenti

Si tratta di una famiglia di reti neurali specializzate nell'elaborazione di **dati sequenziali**



$$a_i^{(t)} = b + \sum_j W_{ij} h_i^{(t-1)} + \sum_j U_{ij} x_i^{(t)}$$

$$h^{(t)} = \tanh(a_i^{(t)})$$

$$o^{(t)} = c + \sum_j V_{ij} h_i^{(t)}$$

172

Long Short-Term Memory

- La dipendenza dalla lunghezza dei termini comporta l'eccessiva riduzione o l'aumento incontrollato del gradiente durante le operazioni di ottimizzazione.

Hochreiter & Schmidhuber 1997

Long Short-Term Memory Cell Block

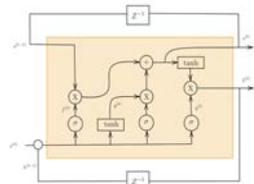
$$i^{(t)} = \sigma \left(h_i^{(t)} + \sum_j U_{ij}^i x_j^{(t)} + \sum_j W_{ij}^i h_j^{(t-1)} \right) \quad (1)$$

$$f^{(t)} = i^{(t)} h^{(t-1)} + o^{(t)} \left(h_i + \sum_j U_{ij} x_j^{(t)} + \sum_j W_{ij} h_j^{(t-1)} \right) \quad (2)$$

$$g^{(t)} = \tanh \left(h_i^{(t)} + \sum_j U_{ij}^g x_j^{(t)} + \sum_j W_{ij}^g h_j^{(t-1)} \right) \quad (3)$$

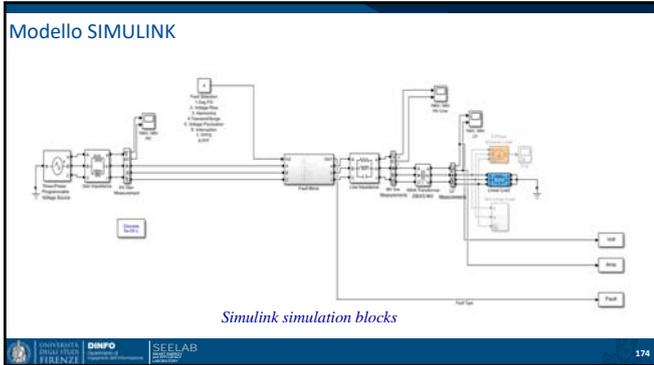
$$h_i^{(t)} = \tanh \left(h_i^{(t)} \right) g^{(t)} \quad (4)$$

$$o^{(t)} = \sigma \left(h_i^{(t)} + \sum_j U_{ij}^o x_j^{(t)} + \sum_j W_{ij}^o h_j^{(t-1)} \right) \quad (5)$$



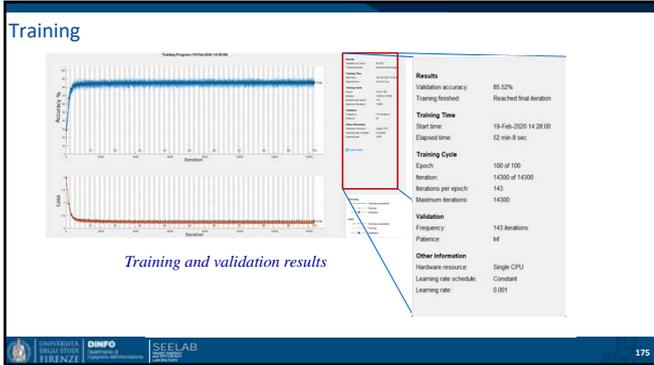
173

Modello SIMULINK



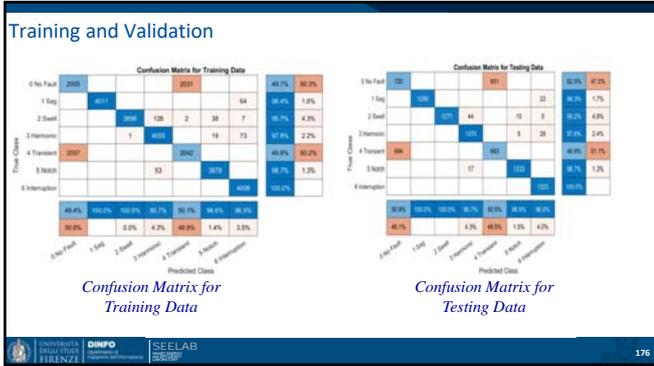
174

Training



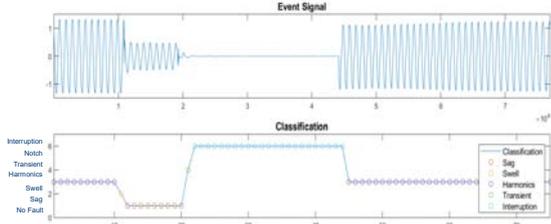
175

Training and Validation



176

Testing

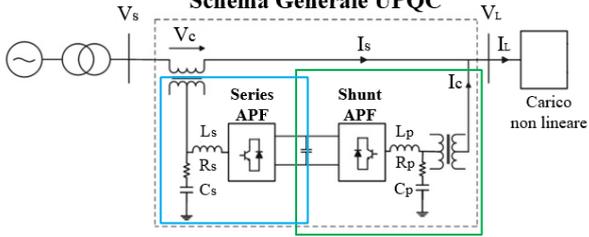


Testing of measured signal for sag and interruption

177

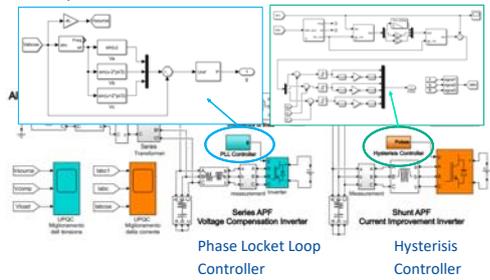
Unified Power Quality Conditioner UPQC

Schema Generale UPQC



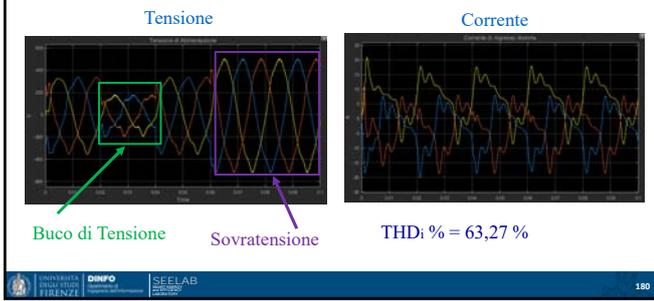
178

Modello di UPQC



179

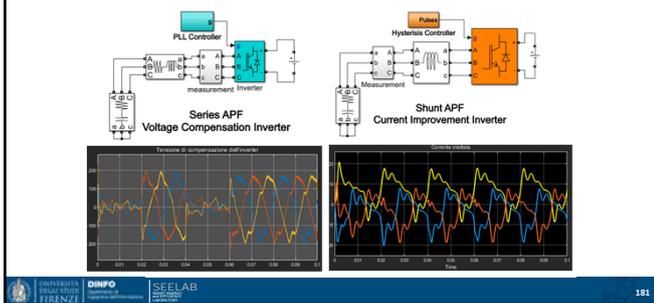
Simulazioni



180

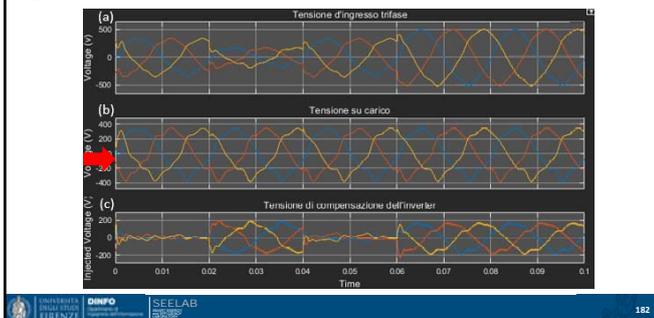
Simulazioni

Nota Sulla correzione dei Disturbi legati alla Power Quality



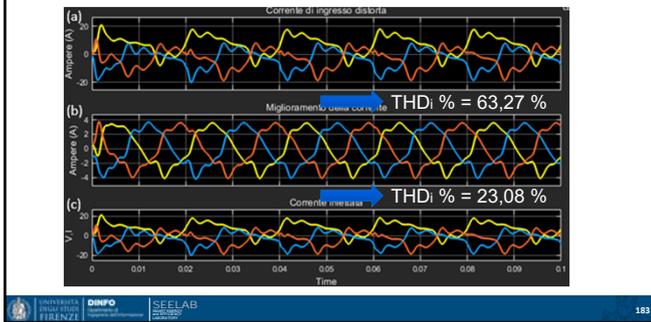
181

Miglioramento della tensione



182

Miglioramento di corrente



183



184



185

Introduzione

- Il laboratorio nasce alla fine del 2015 con una **convenzione di ricerca** tra il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Firenze e la società Energia Europa SPA per la «**Valutazione dell'efficienza energetica e del miglioramento della power quality tramite l'utilizzo dell'apparato E-Power**»
- **Lo scopo del laboratorio** è di analizzare, studiare, sviluppare e svolgere ricerche su circuiti, dispositivi e componenti elettrici necessari per il **miglioramento dei parametri delle grandezze elettriche** nelle reti di distribuzione al fine di ridurre i disturbi e le perdite, **incrementando l'efficienza energetica, il risparmio e la sicurezza degli impianti elettrici utilizzatori.**

186

Le sedi



187

Sede di Zanè



188

Sede di Zanè



189

Sede di Firenze



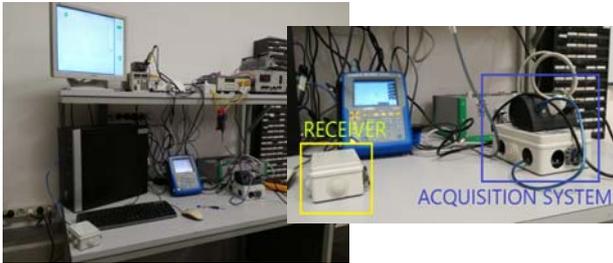
190

Sede di Firenze



191

Sede di Firenze



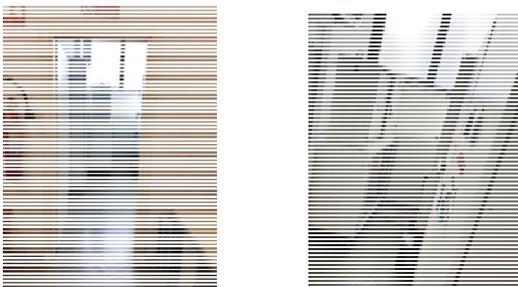
192

Sede di Calenzano



193

Sede di Calenzano



194

CHROMA 61512 PROGRAMMABLE AC SOURCE



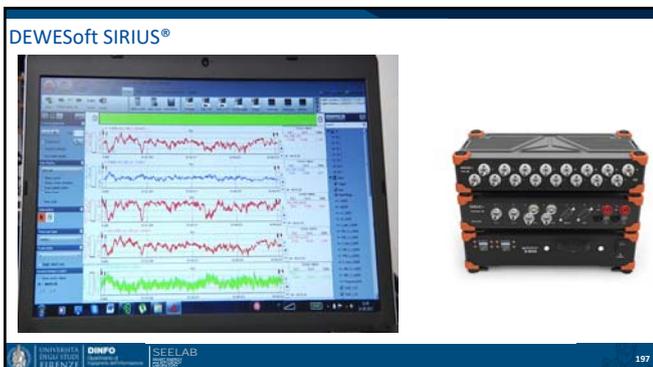
195

YOKOGAWA WT1800 POWER ANALYZER



196

DEWESoft SIRIUS®



197



198



199



200

Le misura



201

Modalità Bypass



202

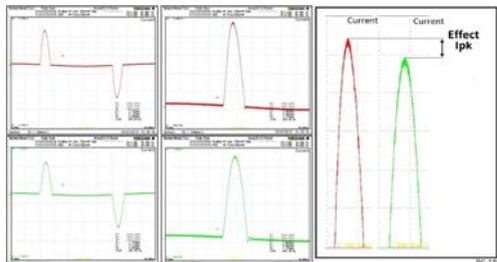
Modalità Saving



203

Riduzione dei Picchi di Corrente

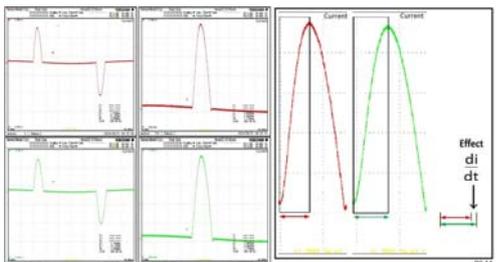
Test di laboratorio su carichi non lineari (switching): si osserva una riduzione significativa del picco di corrente



204

Corrente Assorbita: Effetto Smoothing

Test di laboratorio su carichi non lineari (switching): il fronte di salita della corrente è meno ripido



205

INCENTIVI E DETRAZIONI

207

Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali

- La legge 27 dicembre 2019, n. 160 del 2019 – recante “Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2020 e bilancio pluriennale per il triennio 2020-2022” – ha operato una ridefinizione della disciplina degli incentivi fiscali collegati al “Piano nazionale Impresa 4.0” e, in particolare, di quelli concernenti gli investimenti in beni strumentali, in attività di ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica e altre attività innovative e in formazione 4.0.
- Per gli investimenti in beni strumentali materiali tecnologicamente avanzati (**allegato A, legge 11 dicembre 2016, n. 232**) è riconosciuto un credito d'imposta nella misura del:
 - 40% del costo per la quota di investimenti fino a 2,5 milioni di euro
 - 20% del costo per la quota di investimenti oltre i 2,5 milioni di euro e fino al limite di costi complessivamente ammissibili pari a 10 milioni di euro.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB | 208

208

Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali

- Per gli investimenti in beni strumentali immateriali funzionali ai processi di trasformazione 4.0 (**allegato B, legge 11 dicembre 2016, n. 232, come integrato dall'articolo 1, comma 32, della legge 27 dicembre 2017, n. 205**) è riconosciuto un credito d'imposta nella misura del:
 - 15% del costo nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 700.000. Si considerano agevolabili anche le spese per servizi sostenute mediante soluzioni di cloud computing per la quota imputabile per competenza.
- Per investimenti in altri beni strumentali materiali, **diversi da quelli ricompresi nel citato allegato A**, è riconosciuto un credito d'imposta nella misura del:
 - 6% nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 2 milioni di euro.
- Il credito d'imposta è cumulabile** con altre agevolazioni che abbiano a oggetto i medesimi costi nei limiti massimi del **raggiungimento del costo sostenuto**.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB | 209

209

21-12-2016 Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Serie generale - n. 297

ALLEGATO A
(Articolo 1, comma 9)

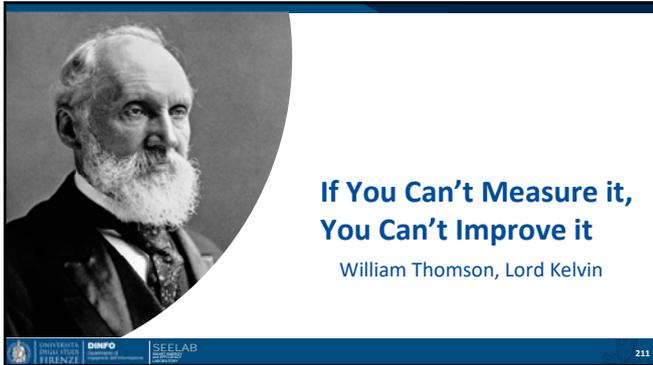
Beni funzionali alla trasformazione tecnologica e digitale delle imprese secondo il modello «Industria 4.0»

Sistemi per l'assicurazione della qualità e della sostenibilità:

componenti, sistemi e soluzioni intelligenti per la gestione, l'utilizzo efficiente e il monitoraggio dei consumi energetici e idrici e per la riduzione delle emissioni,

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE | DINFO | SEELAB | 210

210



211



212
