



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
and EFFICIENCY  
LABORATORY



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



power quality  
maximum save

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  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
and EFFICIENCY  
LABORATORY

2

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



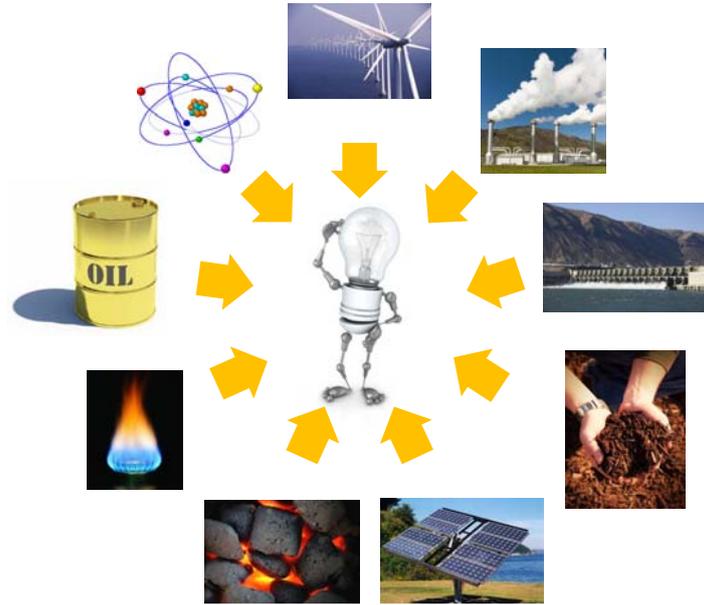
3

## IL SOGGETTO



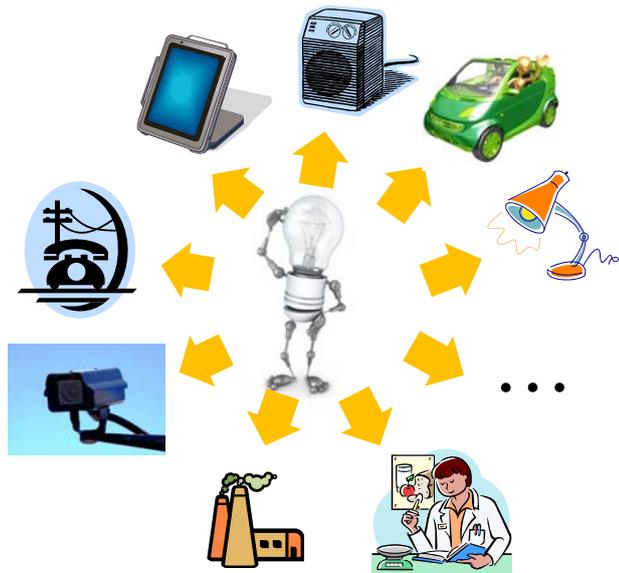
4

# L'Energia Elettrica



5

# L'Energia Elettrica



6

## Perchè parlare di elettricità

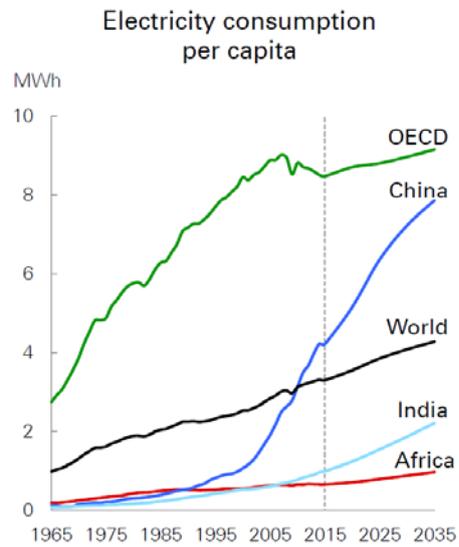
The world economy continues to electrify, with nearly two-thirds of the increase in global energy going into the power sector.



BP Energy Outlook  
2017 edition

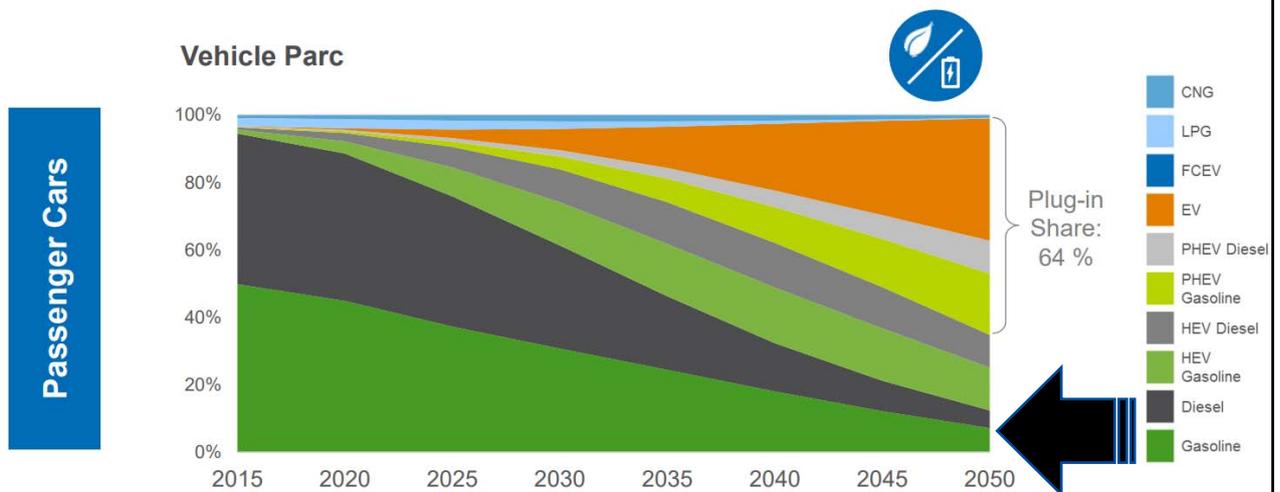


Bob Dudley  
Group chief executive



7

## Perché parliamo tanto di energia elettrica?



8

IL problema

# IL PROBLEMA

( $600 \times 10^{18}$  J)

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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
RESEARCH  
LABORATORY

9

9

Quanta energia consumiamo ?

<b>600</b>	<b><math>x 10^{18}</math> J (exajoule)</b>
<b>568,25</b>	$x 10^{15}$ BTU (quad)
<b>166,7</b>	$x 10^{12}$ kWh
<b>143,30</b>	$x 10^{18}$ cal (exacalorie)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
RESEARCH  
LABORATORY

10

10

## Quanta energia consumiamo ?



600 EJ = 900.000 miliardi di cappuccini + brioche

11



12

### World Scientists' Warning of a Climate Emergency

William J Ripple, Christopher Wolf, Thomas M Newsome, Phoebe Barnard, William R Moomaw Author Notes

BioScience, biz088, <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>

Published: 05 November 2019

PDF Split View Cite Permissions Share

Issue Section: Viewpoint

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

Exactly 40 years ago, scientists from 50 nations met at the First World Climate Conference (in Geneva 1979) and agreed that alarming trends for climate change made it urgently necessary to act. Since then, similar alarms have been made through the 1992 Rio Summit, the 1997 Kyoto Protocol, and the 2015 Paris Agreement, as well as scores of other global assemblies and scientists' explicit warnings of insufficient progress (Ripple et al. 2017). Yet greenhouse gas (GHG) emissions are still rapidly rising, with increasingly damaging effects on the Earth's climate. An immense increase of scale in endeavors to conserve our biosphere is needed to avoid untold suffering due to the climate crisis (IPCC 2018).

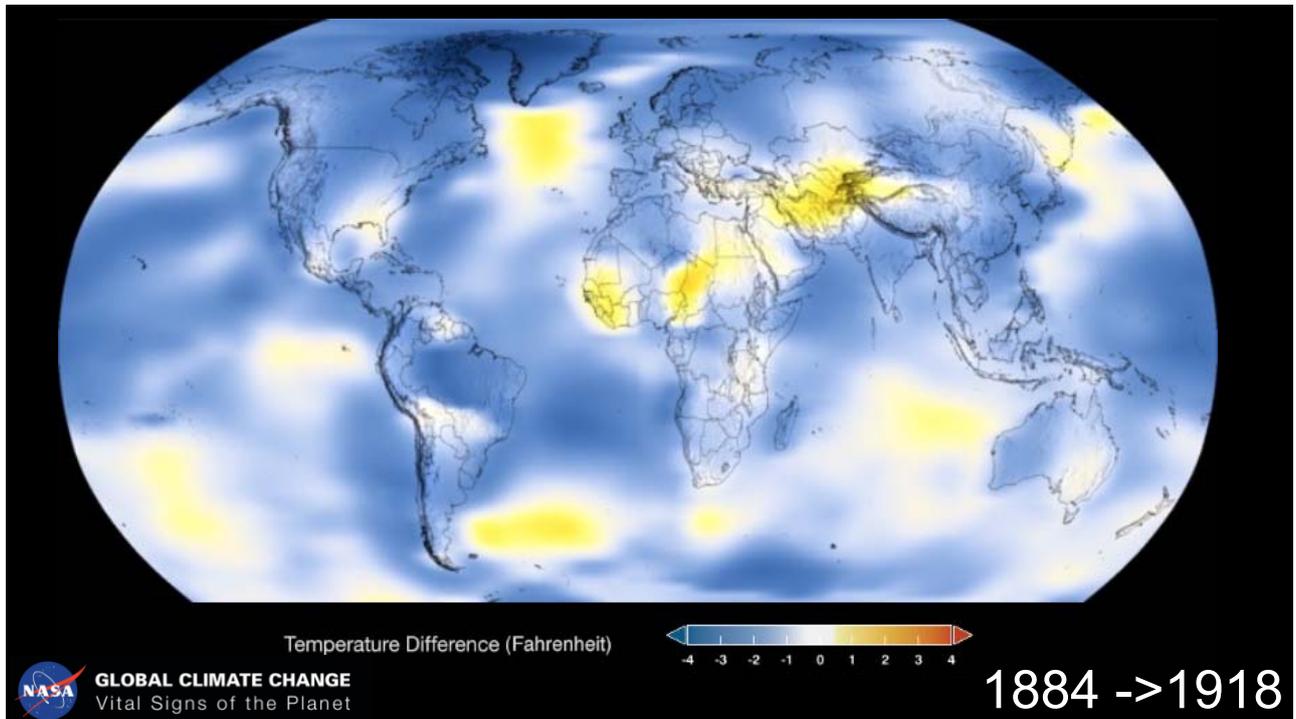
BioScience's Impact Factor increased to 6.591

View Metrics

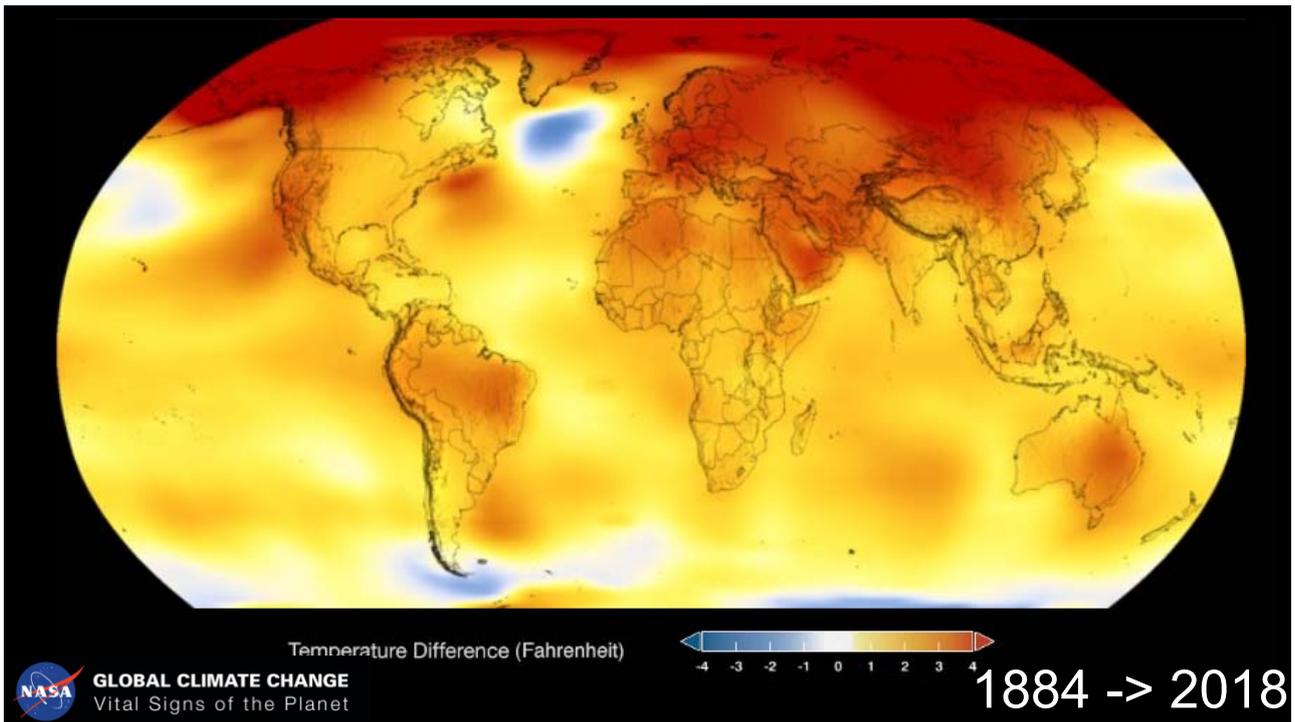
Email alerts: New issue alert, Advance article alerts, Article activity alert. Receive exclusive offers and updates from Oxford Academic

Related articles in

13



14



15

600 x 10<sup>18</sup> J

54 x 10<sup>24</sup> J

atmosfera

45%

reirraggiamento

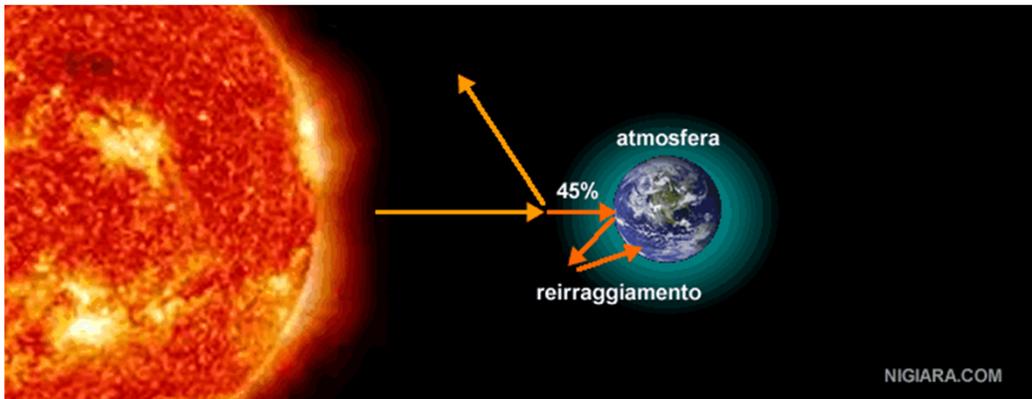
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

DINFO Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

SEELAB SMART ENERGY and EFFICIENCY LABORATORY

16

16



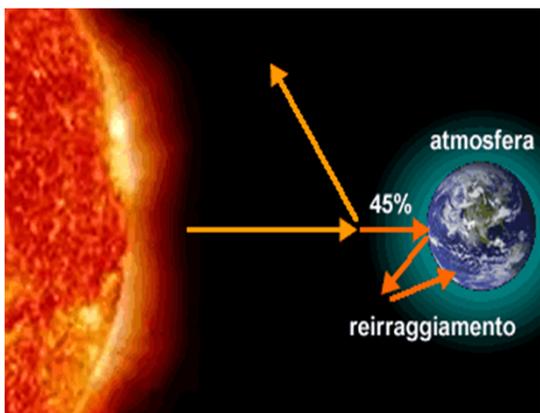
$54.000.000 \times 10^{18} \text{ J}$

54 milioni di miliardi di miliardi di joule

energia ricevuta ogni anno dal sole



17



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

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



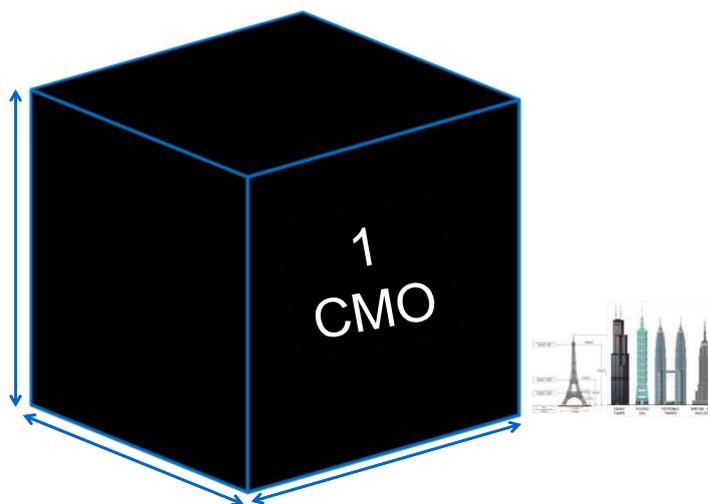
18

## Quanta energia consumiamo ?

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

19

## QUANTO E' Un Miglio cubico di petrolio?



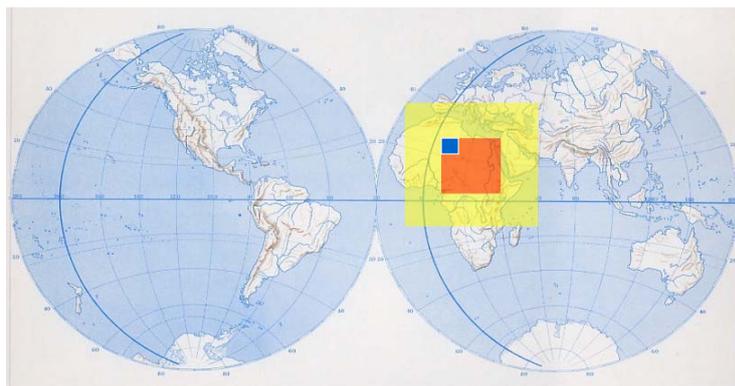
20

## Il Massiccio della Marmolada



21

...usando solo RINNOVABILI



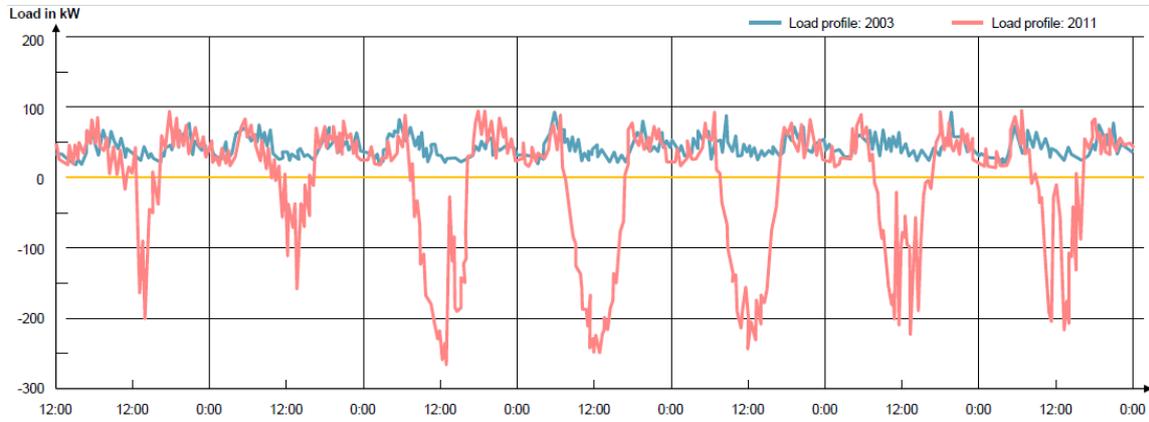
■ Fotovoltaico

■ Eolico

■ Biomasse

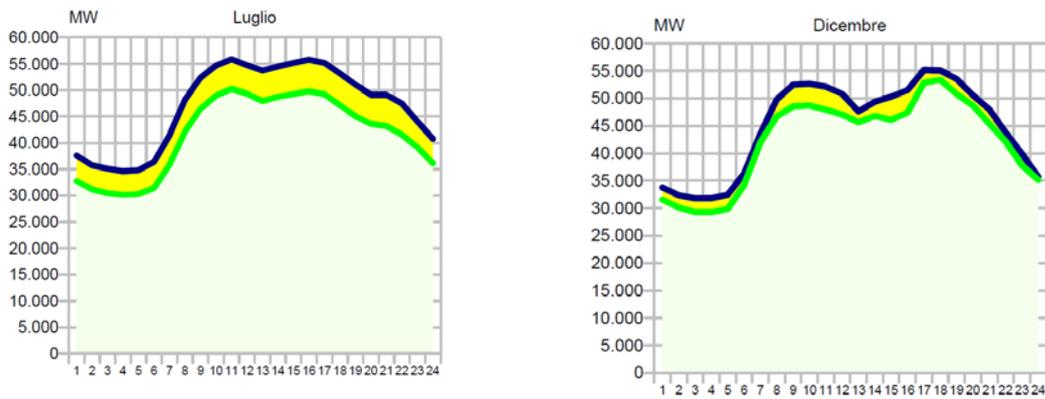
22

## Andamento dei carichi sulla rete

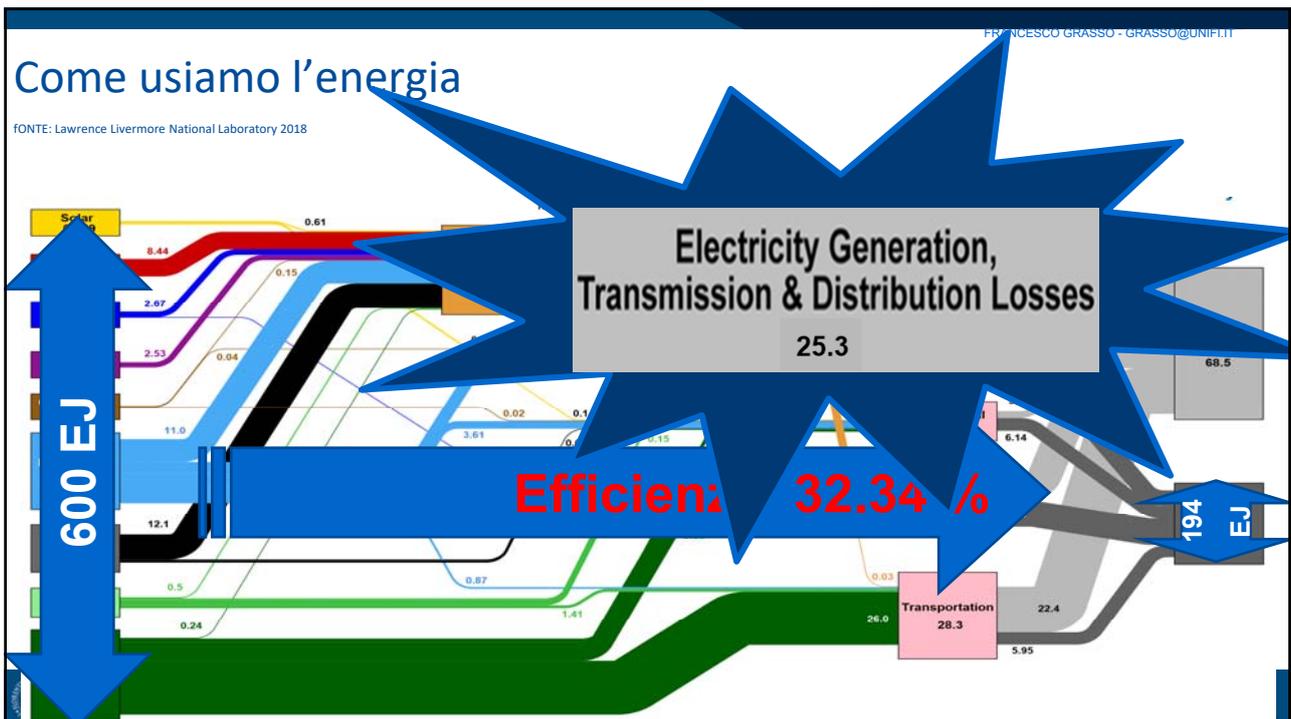


23

## Potenza richiesta giornaliera



24



25

## Quanta energia sprechiamo...

<b>42</b>	<b><math>\times 10^3</math> TWh</b>
1.6	GW per ogni centrale
12	TWh prodotto da ogni centrale

**3.500 Centrali da 1.6 GW bruciano per niente...**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione | SEELAB SMART ENERGY and EFFICIENCY LABORATORY

26



## 14 giugno 2011: certificazione dei risultati

### Referendum, i "Sì" oltre il 95% risultato storico, "Un sì per tutti"

In Italia ha votato il 57% degli aventi diritto, considerando gli italiani all'estero. Esplosione nelle piazze d'Italia. Tra gli slogan, "Berlusconi è un quorun", polemiche per le parole di Maroni a urne aperte  
di TIZIANO TONIUTTI



ROMA. Si certifica: ai referendum popolari del 12 giugno ha votato il 57% degli aventi diritto. Il risultato è stato considerato i votanti all'estero. Il "Sì" tocca il 95%, un successo travolgente, già percepito più vicino da ieri sera, ma sorprendente anche nel momento della rivelazione. E si esplode ovunque, nelle piazze e su internet, dai motori e dagli elettori, per i risultati e per il "nuovo" di partecipazione. Quelle che il ministero dell'Interno sono percentuali di risultato assoluta, con il quorum raggiunto e superato per la prima volta dal 1995.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

29

29

## 15 giugno 2011

### Avviso al pubblico



L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

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-DEC-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".



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

30

30

## Piombino «TORRE del Sale» – 1280 MW



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

31

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 caricabatterie.....**

**Inoltre**

$$10 \text{ W} \cdot 30.000.000 = 300 \text{ MW}$$

**...una centrale termoelettrica è accesa giorno e notte per niente!!!**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

32

32

## Centrale termoelettrica Santa Barbara - Caviglia



Centrale a ciclo  
combinato  
a gas metano

**Potenza  
produttiva**

**340 MW**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

33

33



Come ci siamo  
arrivati?



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

34

34

## Due civiltà evolute



35

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



36

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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

37

37

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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

38

38

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



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



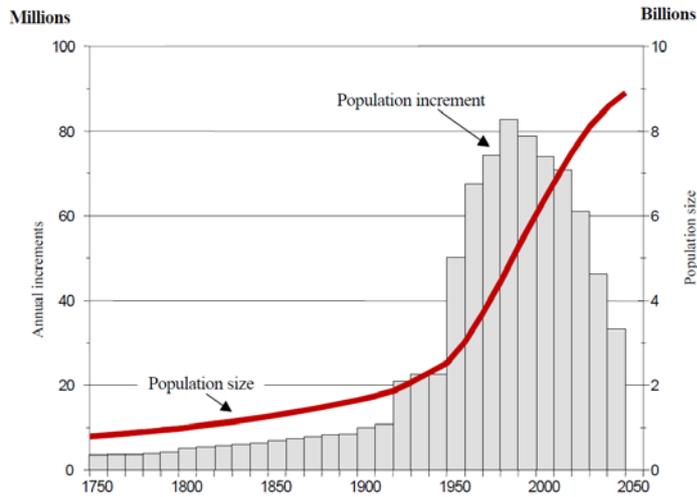
United States: The Revis family of North Carolina  
SPESA SETTIMANALE PER IL CIBO: \$341.98



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

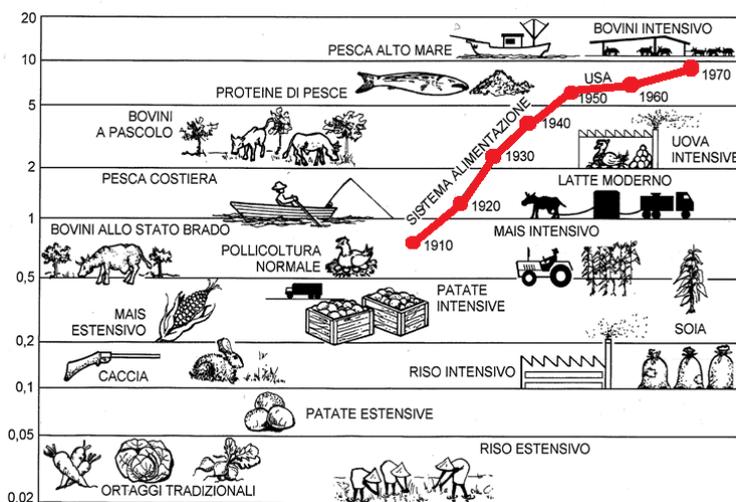


## Un'idea.....



43

## L'impatto sulla produzione alimentare



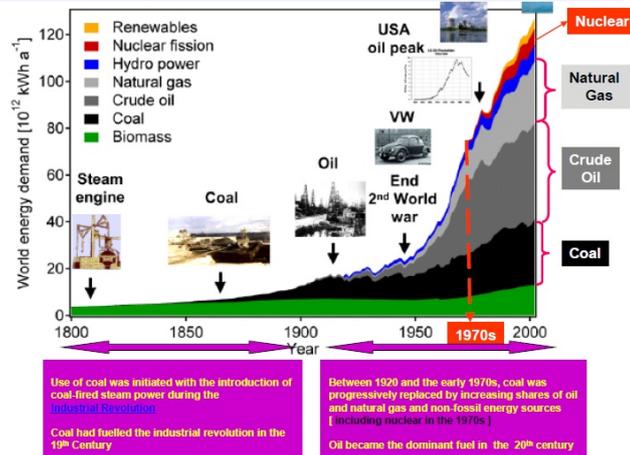
Calorie aggiuntive a quelle solari per ottenere una caloria di cibo

44

# L'impatto Sui CONSUMI ENERGETICI

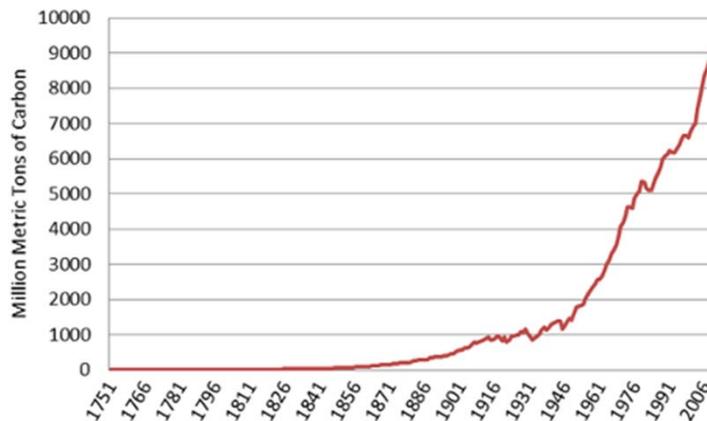
## A3. Global Energy Consumption 1800-2000 & Contribution from Nuclear

Energy has helped improved quality of life and advanced civilization and is an important catalyst for economic growth



45

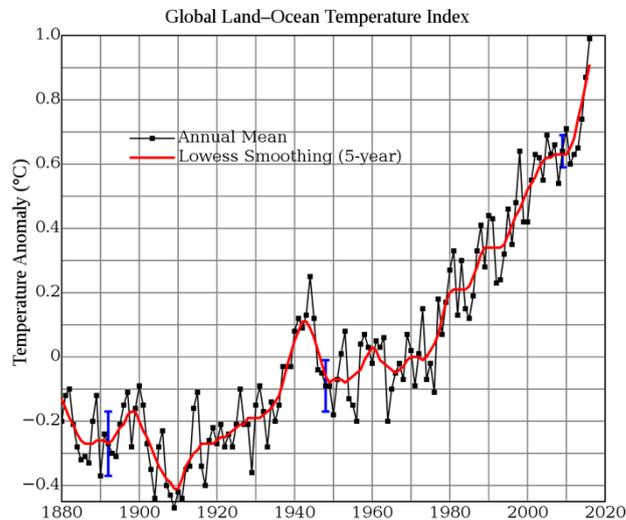
# Andamento della CO2



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), 2013, [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview\\_2010.html](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

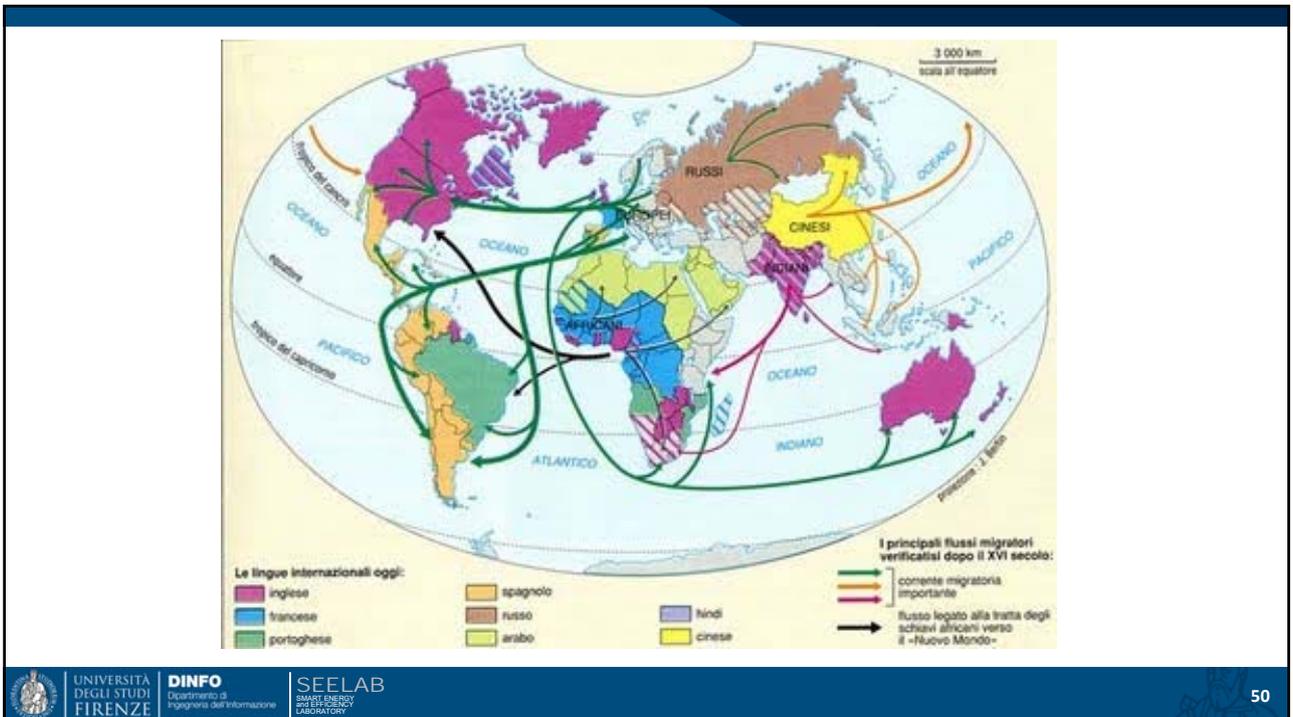


**SFRUTTAMENTO ENERGETICO ECCESSIVO**

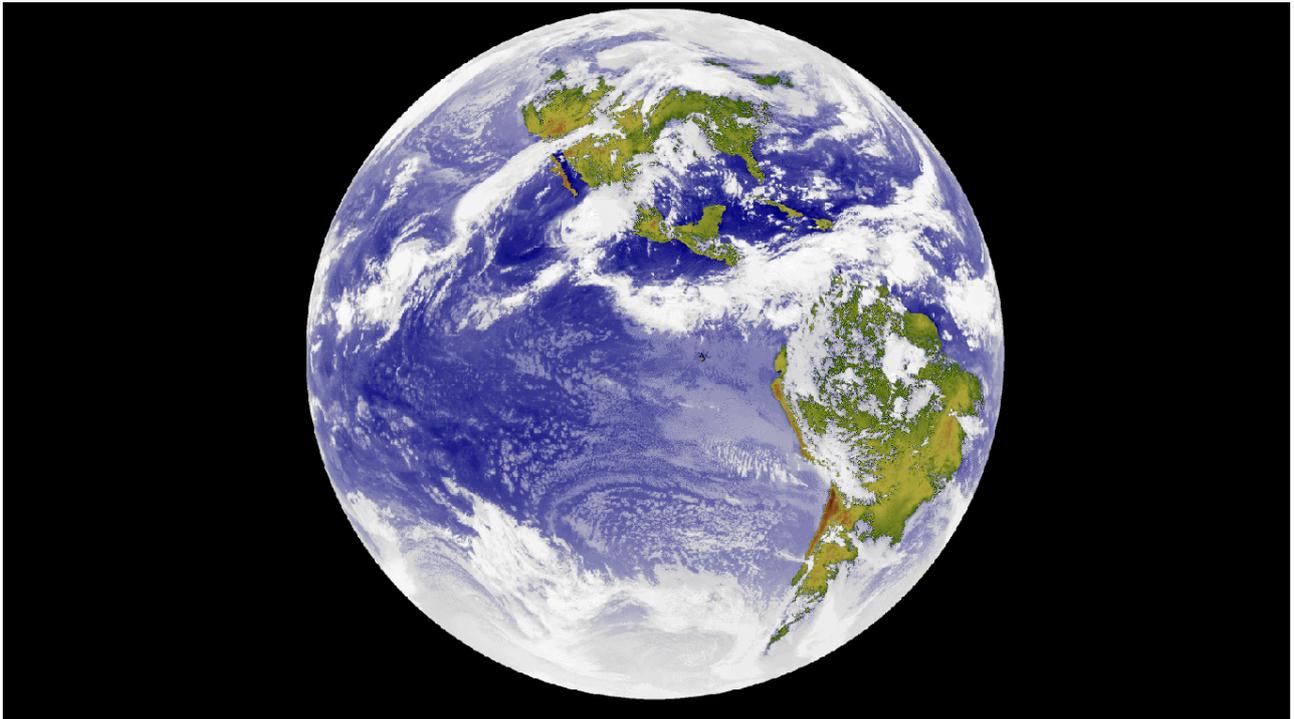
48



49



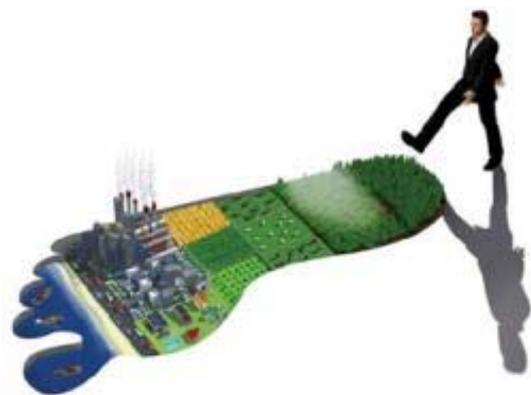
50



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.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
AND EFFICIENCY  
LABORATORY

52

52

## Calcola la tua impronta ecologica



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

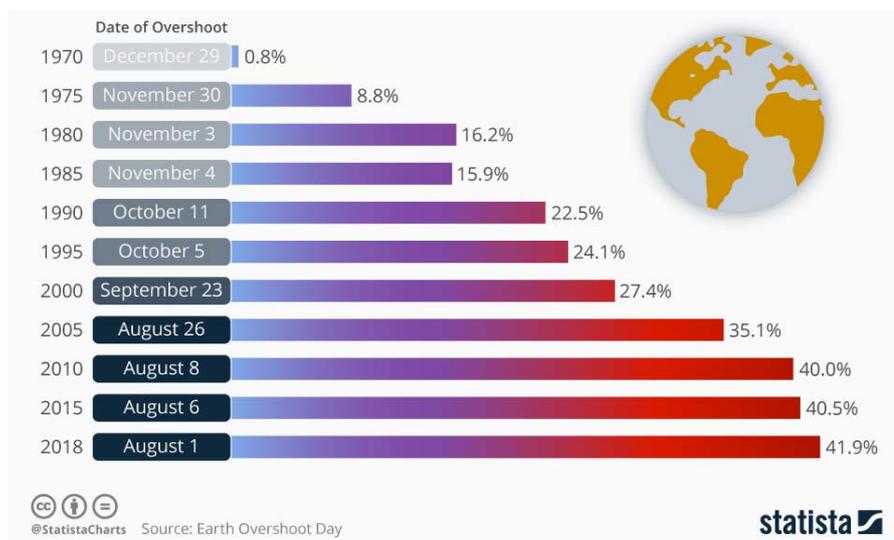


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EFFICIENCY  
LABORATORY

## Earth Overshoot DAY

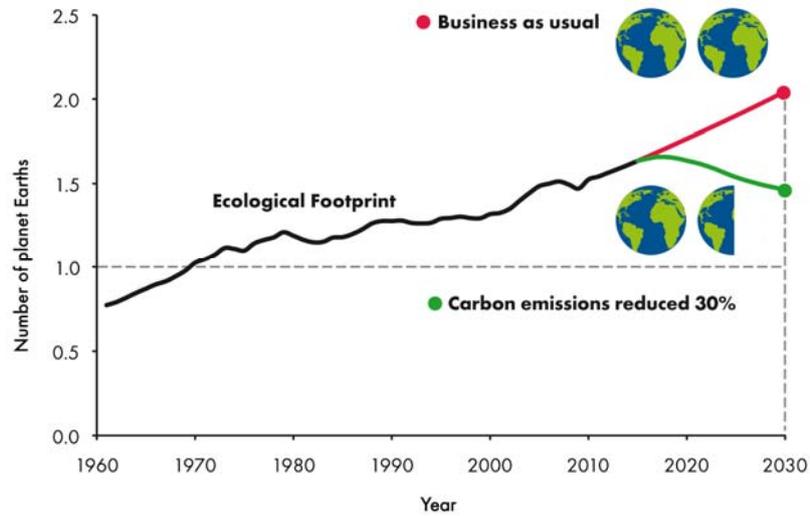


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EFFICIENCY  
LABORATORY

## QUANTI PIANETI SERVONO PER CONSENTIRE LE ATTIVITA' UMANE?



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

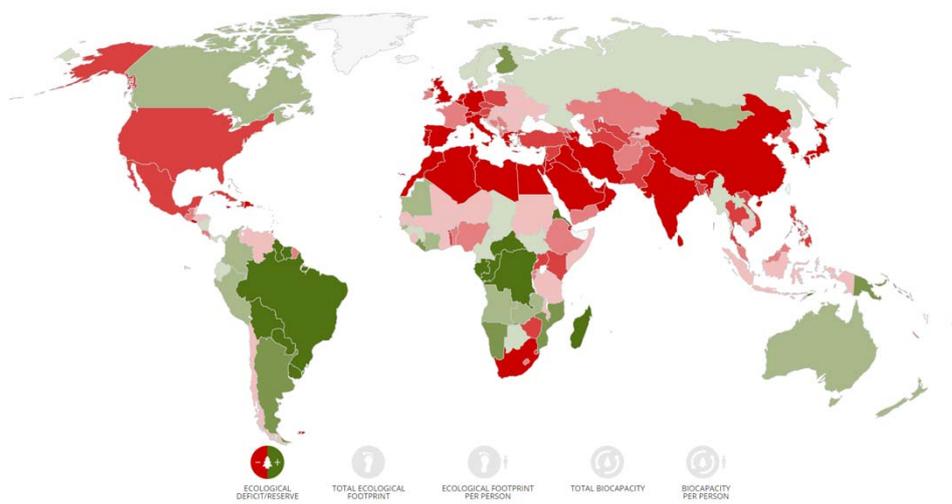
**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

55

55

## Impronte ecologiche nel mondo



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

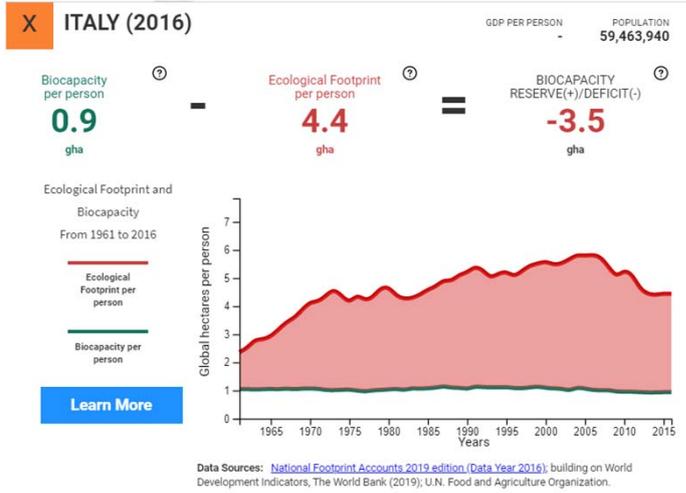
**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

56

56

## Ecological Footprint – ITALIA

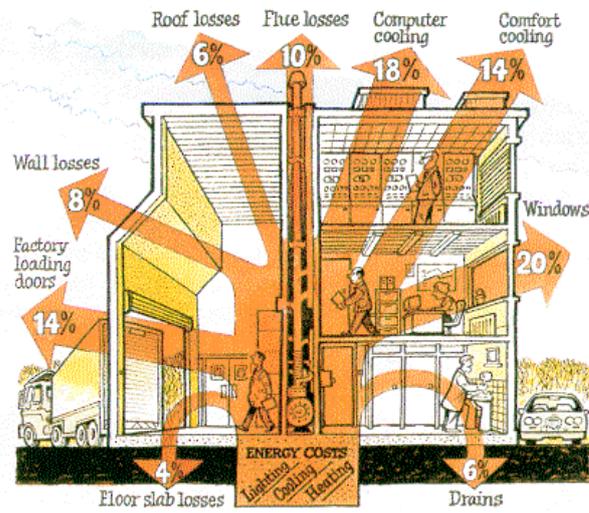


<https://www.footprintnetwork.org/>

## DOVE SPRECHIAMO



# Casa....o tenda



# I rifiuti



## Trasporti



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

61

61

## Proverbio saudita

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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

62

62



63



AL

VA

64

# LA SOLUZIONE



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
EFFICIENCY  
LABORATORY

65

65



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
EFFICIENCY  
LABORATORY

66

66

## LA PIRAMIDE ENERGETICA

The diagram illustrates the Energy Pyramid, a hierarchy of energy management strategies. It consists of three stacked triangular sections:

- Top (Yellow):** **Energie Rinnovabili** (Renewable Energy). Icons include a volcano, a wind turbine, solar panels, and a field of wheat.
- Middle (Green):** **Efficienza Energetica** (Energy Efficiency). Icons include a refrigerator, a hand turning a water tap, a light bulb, and an Energy Star logo.
- Bottom (Red):** **Risparmio Energetico** (Energy Savings). Icons include a person at a sink, a thermostat, a light switch, and a door.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione | SEELAB SMART ENERGY EFFICIENCY LABORATORY

67

67

# Pensate sia un'utopia?

A green road sign on two metal posts against a blue sky with clouds. The sign reads: "WELCOME TO PARADISE" in large white letters, and "ENJOY THE JOURNEY" in smaller white letters below it.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI FIRENZE | DINFO Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione | SEELAB SMART ENERGY EFFICIENCY LABORATORY

68

68

## IL 4 OTTOBRE 2009...

FONTI RINNOVABILI

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

Ai Colloqui di Dobbiaco la Provincia autonoma annuncia il piano per la totale eliminazione di fonti fossili entro il 2020. Si punta sulle biomasse, l'eolico, il solare e l'idrogeno  
di ANDREA DI STEFANO



**DOBBIACO** - In vista della conferenza sui cambiamenti climatici di Copenhagen, le regioni alpine giocano la carta dell'autarchia energetica. Ad assumere a tutti gli effetti la leadership è l'Alto Adige che ha annunciato oggi ai Colloqui di Dobbiaco, storico evento di dialogo culturale e scientifico sull'ecologia che ha preso il via nella località altoatesina, che la Provincia intende eliminare l'utilizzo di fonti fossili entro il 2020.

"Attualmente abbiamo già un bilancio intermedio che evidenzia che il 56% del fabbisogno energetico è raggiunto utilizzando fonti rinnovabili - spiega l'assessore all'ambiente e energia della Provincia autonoma, Michl Laimer - il nostro piano è quello di raggiungere il 75% nel 2013 e il 100% entro il 2020. Per fare un raffronto nel 2005 la quota delle rinnovabili in Svezia era al 39,8%, in Finlandia al 28,5%, in Austria al 23,3%, in Germania al 5 e in Italia al 5,2%".

Il consumo energetico in Provincia di Bolzano è costituito per il 29% da elettricità, integralmente coperta dalla produzione idroelettrica (930 centrali in tutto, 784 da 220 KW, 116 da 220-3000 KW e 30 oltre 2000 KW per una produzione netta superiore del 50% alle esigenze locali) e per il 71% da domanda termica coperta ad oggi per il 27% con le rinnovabili e il 44% dalle

fonti fossili che l'Alto Adige sostituirà integralmente entro il 2013.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
RESOURCES  
LABORATORY

69

69

## il 16 giugno 2013...

### Per due ore soltanto rinnovabili, domenica l'Italia è stata più verde

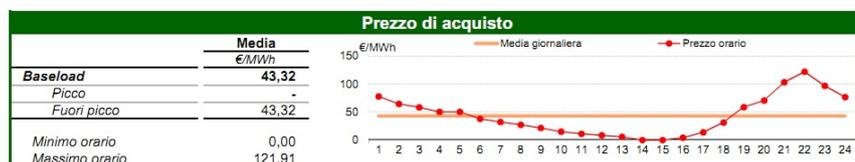
E' la prima volta in assoluto che il fabbisogno viene da fonti green. E' successo per 120 minuti domenica scorsa, quando il prezzo di tutta l'elettricità è andato a zero e non ci sono state emissioni. Fenomeno piccolo ma indicativo di una tendenza

di ANTONIO CIANCIGLIO

Lo leggo dopo



### Mercato del Giorno Prima domenica 16 giugno 2013



Domenica 16 giugno 2013, tra le 14 e le 15, per la prima volta nella storia, il prezzo d'acquisto dell'energia elettrica (PUN) è sceso **a zero su tutto il territorio nazionale** (vedi [sintesi GME](#)). Ciò significa che in quelle due ore energia solare, eolico e idroelettrico hanno prodotto il 100% dell'elettricità italiana



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
RESOURCES  
LABORATORY

70

70

Il 6 Agosto 2013

## Obiettivo Ue 20.20.20: raggiunto per la produzione elettrica da fonti rinnovabili

[6 agosto 2013]

di  
Lucia Venturi

Il Gestore dei servizi energetici (Gse) ha reso noti i dati di produzione elettrica da fonti rinnovabili, che già nel 2012 hanno raggiunto la quota che spettava all'Itali per il 2020. Pubblicate anche le graduatorie degli impianti che rientrano nei contingenti annuali di potenza



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

71

71

## Nel corso del 2014 in italia...

lavoce.info DOMENICA 8 MAGGIO 2013

HOME ARGOMENTI DOSSIER RUBRICHE

Home - Argomenti - Concorrenza e mercati - Energia elettrica - È l'ora dei prezzi negativi

CONCORRENZA E MERCATI ENERGIA E AMBIENTE

### Energia elettrica: è l'ora dei prezzi negativi

28.09.14

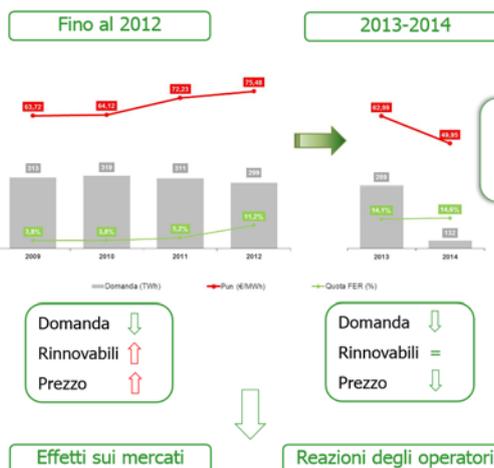
Simona Benedettini e Carlo Stagnaro

Twitter 1 Facebook 1 Google+ 2 14 Commenti

L'Italia dovrà introdurre la possibilità di prezzi elettrici negativi. È un'opportunità. E non solo per l'integrazione del nostro mercato con quello di altri paesi europei, ma anche per valorizzare il ruolo della borsa elettrica.

VERSO UN MERCATO EUROPEO DELL'ENERGIA

Le direttive europee sull'apertura dei mercati energetici sono finalizzate non solo a incoraggiare la concorrenza nei mercati nazionali, ma anche a favorire l'integrazione tra i mercati europei. L'allargamento della dimensione fisica dei mercati - e, in prospettiva, la creazione del "mercato interno" per l'energia elettrica - può infatti produrre benefici importanti in termini di prezzo, di maggiore efficienza nell'utilizzo degli impianti esistenti e di riduzione degli impatti ambientali. Per raggiungere l'obiettivo la Commissione Europea ha promosso iniziative diverse: tra le altre, oltre l'introduzione di regole armonizzate per la disciplina dei mercati nazionali e la realizzazione di investimenti infrastrutturali cross border, il cosiddetto *market coupling*. Si tratta di "un meccanismo di integrazione dei mercati che, nel determinare il valore dell'energia elettrica nelle diverse zone europee di mercato coinvolte, contestualmente all'allocazione della capacità di trasporto disponibile tra dette zone, ottimizzandone l'utilizzo".



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

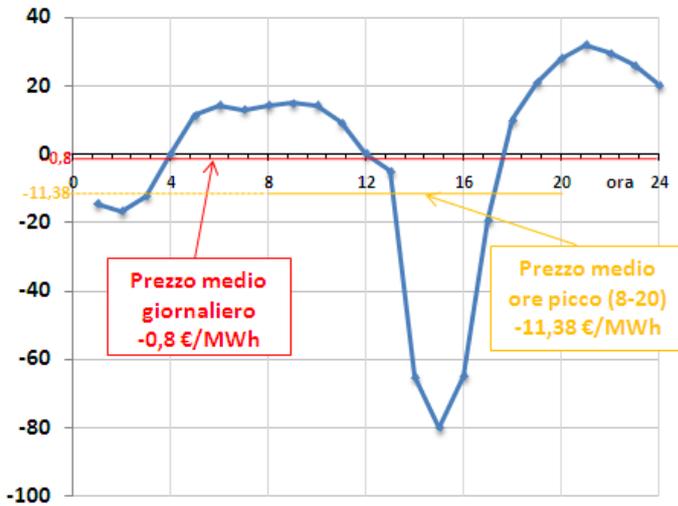
DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
EXPERIMENTAL  
LABORATORY

72

72

## Il 12 Aprile 2015 in Germania...



prezzo medio giornaliero  
dell'energia elettrica

[€/MWh]

73

## Prosumer



74

# COS'È LA POWER QUALITY

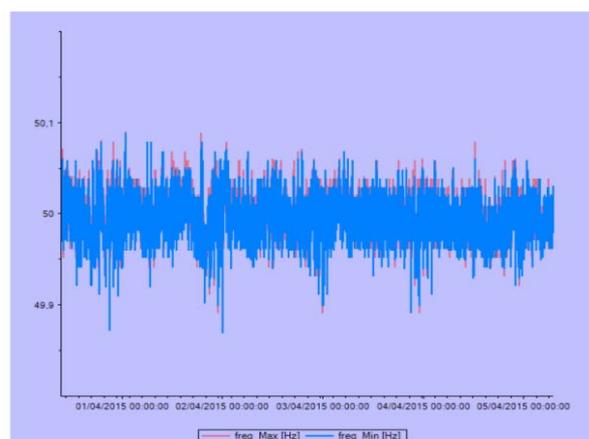


75

## Cosa comporta una grande richiesta di energia elettrica?



Andamento della tensione di rete



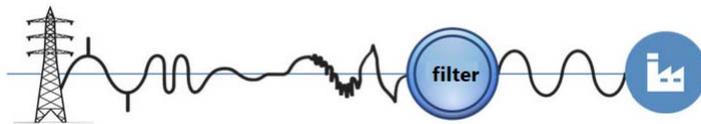
Andamento della frequenza di rete



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.*



## 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



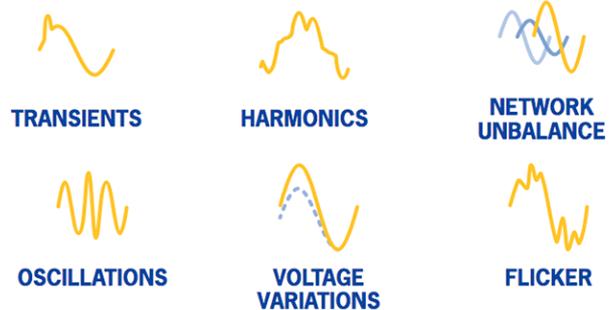
## Quanto costa una bassa Power Quality

- 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, transitori) 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.



## Quanto costa una scarsa Power Quality

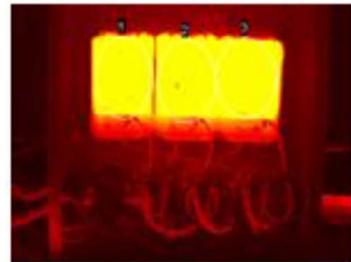
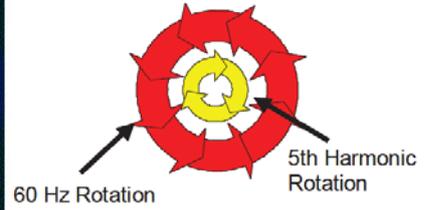
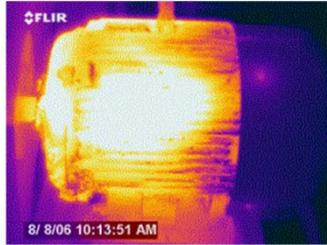
- I disturbi dovuti ad una scarsa Power Quality comportano costi legati direttamente all'energia non trasformata in lavoro e costi dovuti alle conseguenze indirette provocate dagli stessi disturbi.
- I disturbi incidono infatti su:
  - *regolarità di funzionamento;*
  - *interruzione della produzione;*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



## I costi delle armoniche

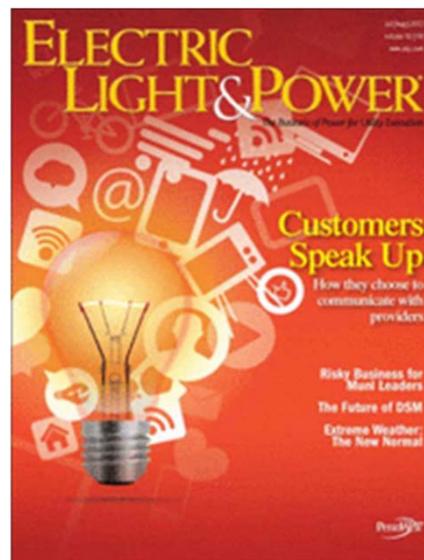
Uno studio della Canadian Electrical Association ha dimostrato che una tensione di alimentazione con THD pari al 10% causa una **diminuzione della durata di vita:**

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



## 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 ...**



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

Durata Media		
Tensione residua [%]	Numero di buchi	Durata media [s]
80...90	707	0.092
70...80	198	0.134
40...70	213	0.173
5...40	95	0.172
1...5	4	0.26

Numero medio di Buchi di Tensione per durata					
Tensione residua [%]	Durata buchi				
	20-200 ms	200-500 ms	500-1000 ms	1-5 s	5-60 s
80...90	68.7	3.4	0.7	0.1	0
70...80	17.8	2.1	0.5	0	0
40...70	16.4	5.4	0.2	0	0
5...40	7.9	1.6	0.1	0.1	0
1...5	0.3	0	0.1	0	0

## 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

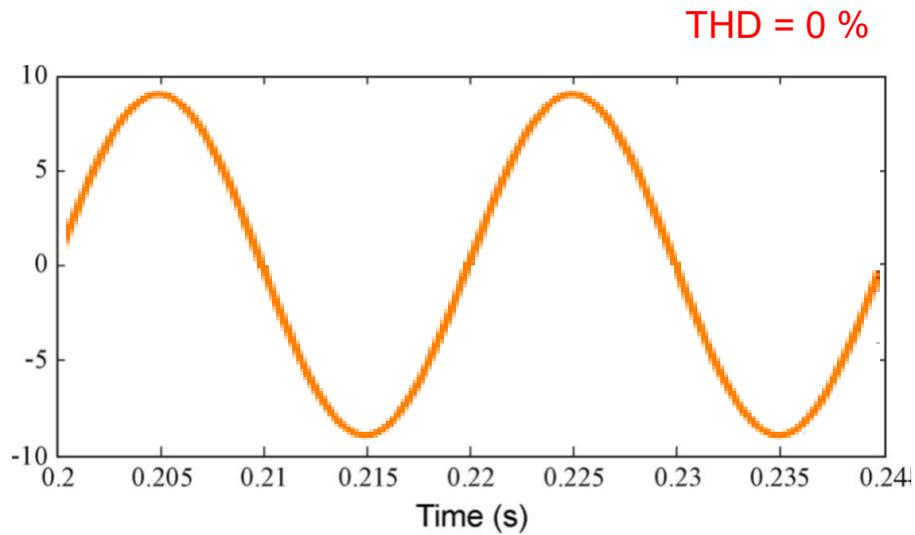
Sector	Agriculture	Commercial	Industrial
VCR (\$/kWh)	47.67	44.72	44.06

### Directly-connected customers

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

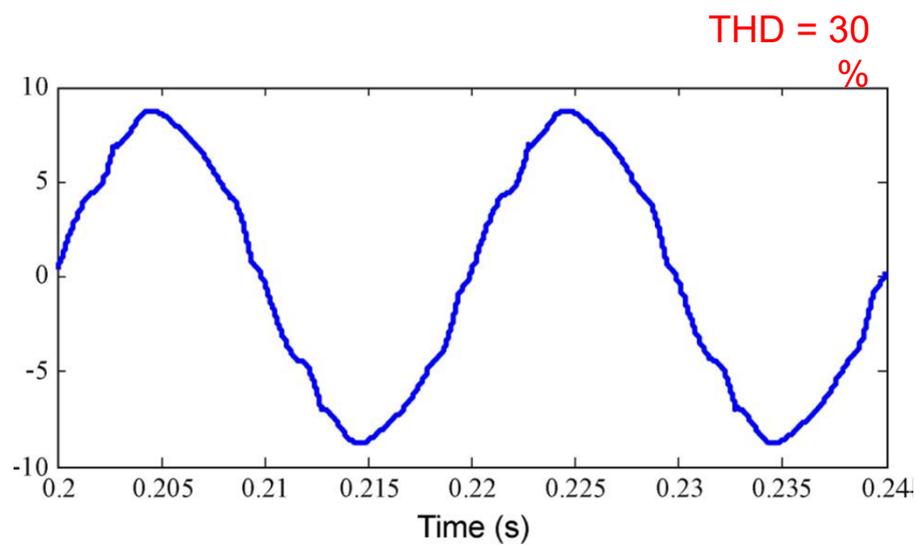
Customer type	Customer group VCR (\$/kWh)
Residential	24.76

## Il fenomeno armonico nelle reti elettriche



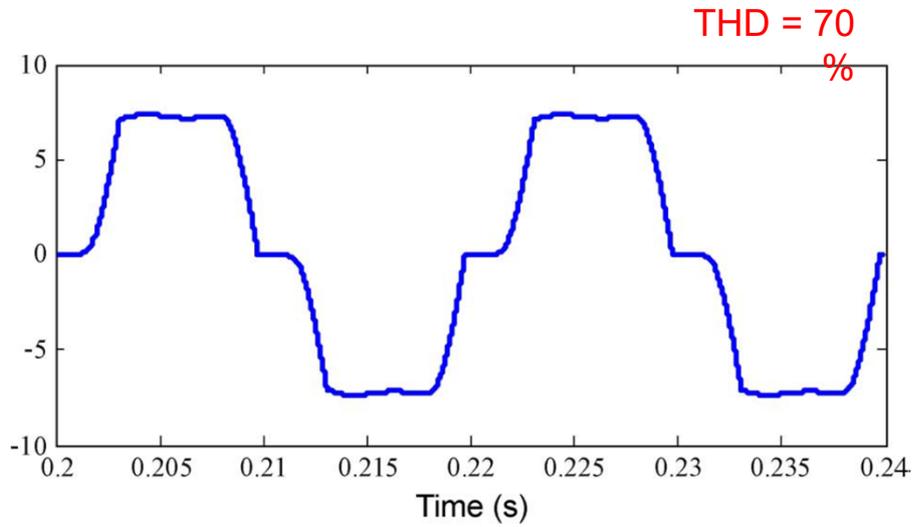
85

## Il fenomeno armonico nelle reti elettriche

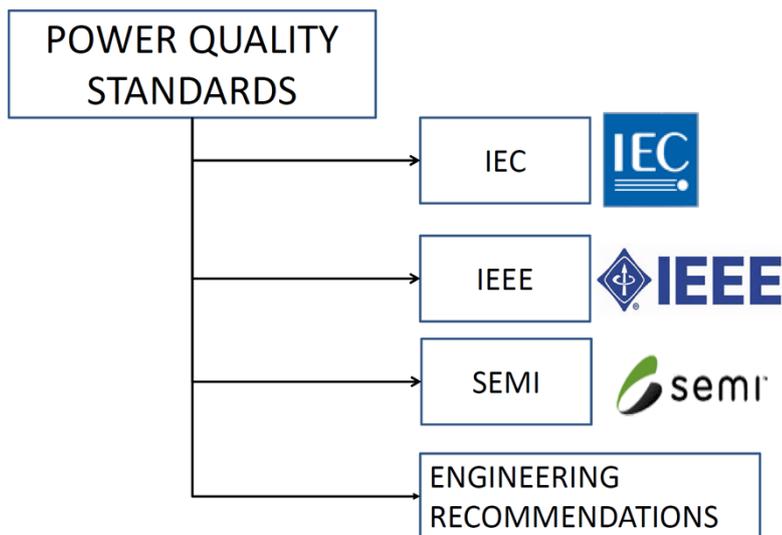


86

## Il fenomeno armonico nelle reti elettriche



## Gli standard



## 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

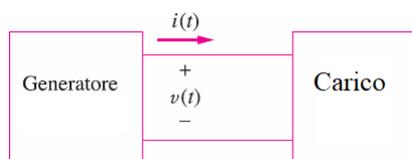
- Tuttavia, **in ambito tecnologico** l'energia permette, tramite il suo sfruttamento, la trasformazione di **materie prime** in prodotti o **beni** finali oppure consente la fornitura di servizi utili all'uomo e alla società.
- L'**unità di misura** per l'energia è il **joule** (simbolo: **J**), ma 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

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

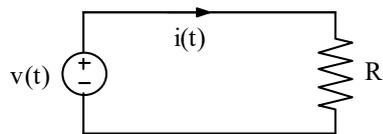
La **potenza media** è il valor medio della potenza istantanea su un periodo.

93

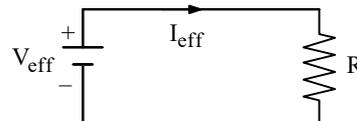
## Il valore efficace

- 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.



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



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

## 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

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

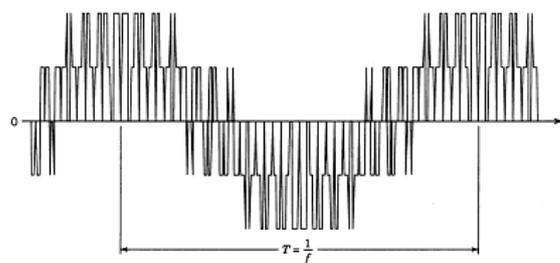
## Il «vero» valore efficace – True RMS



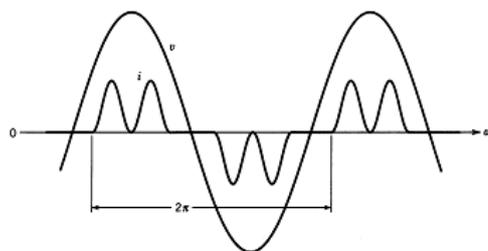
96

## 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:

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

dove

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

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

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



## Analisi di Fourier o Analisi armonica

Ovvero, in forma compatta:

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

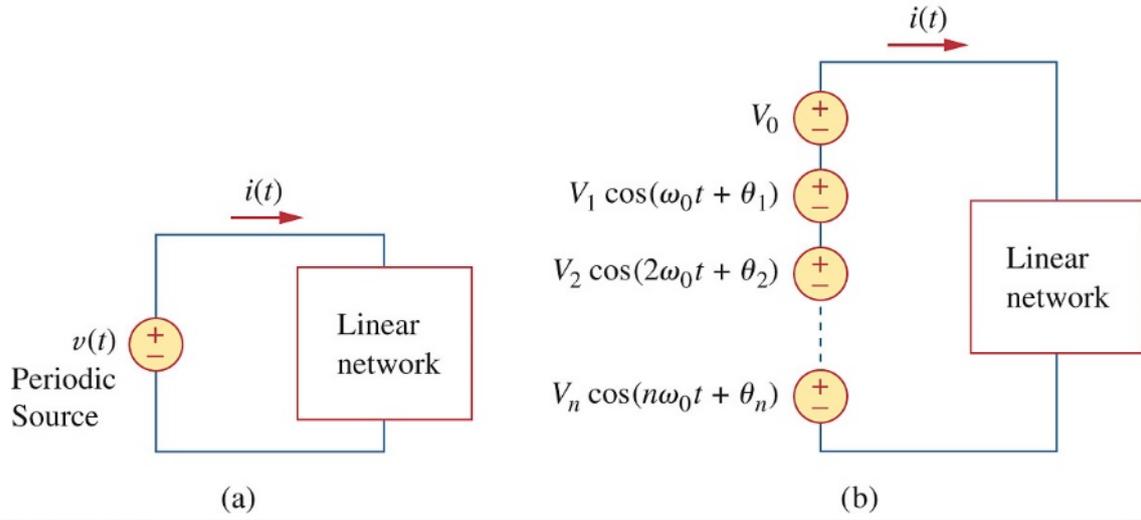
$$F_{dc} = \frac{a_0}{2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt$$

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

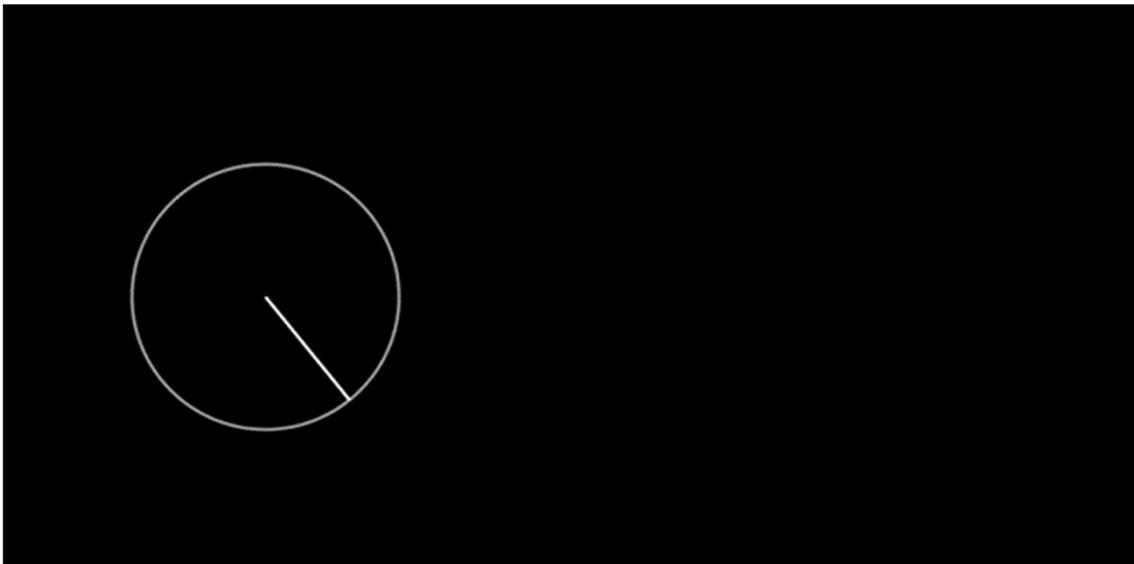


# Analisi di Fourier o Analisi Armonica

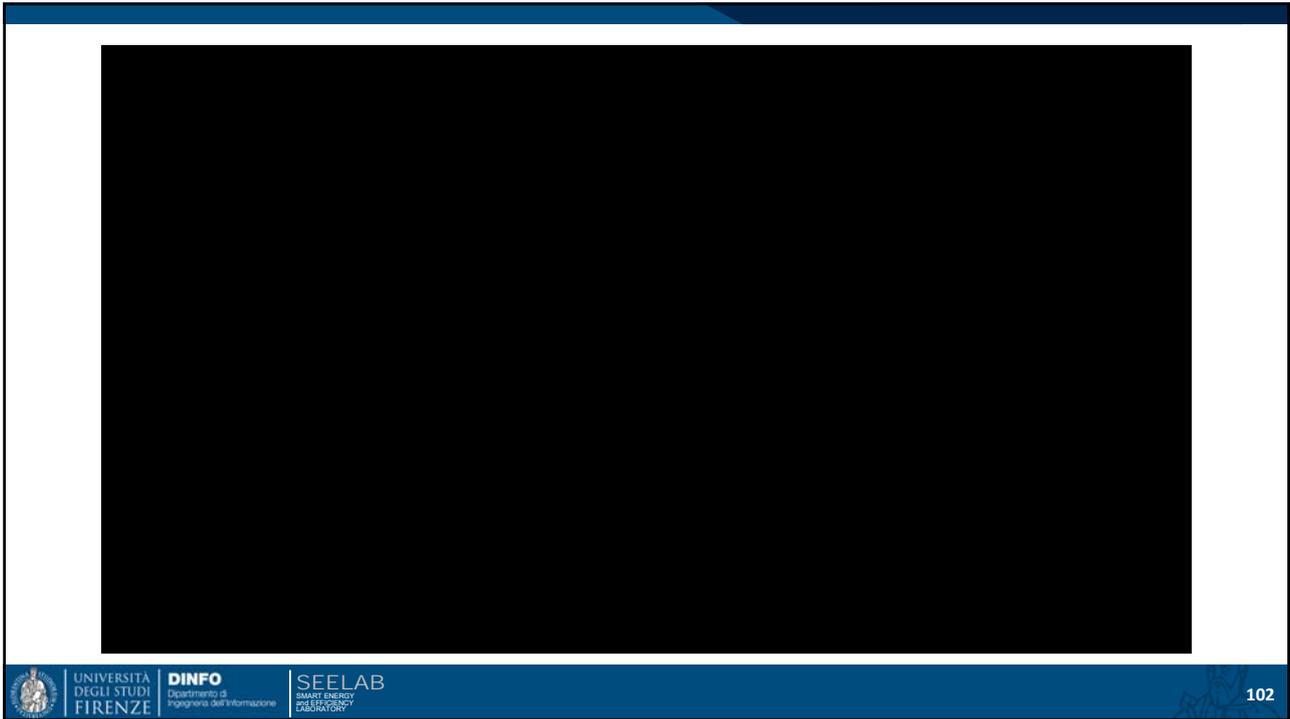
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



100

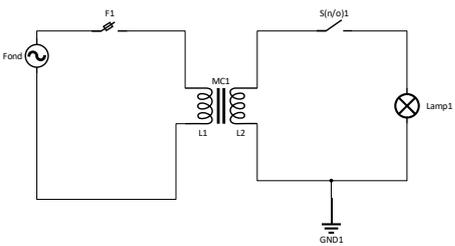


101

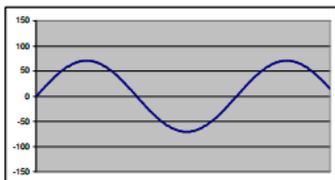


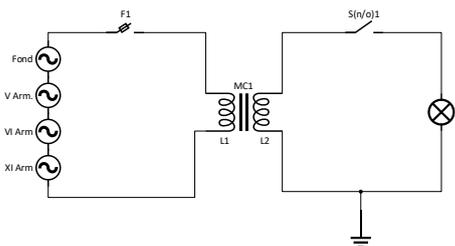
102

### Potenza in regime distorto

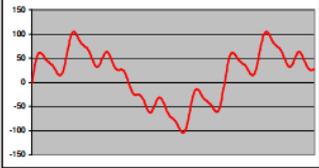


**Fondamentale (50Hz): 50A**



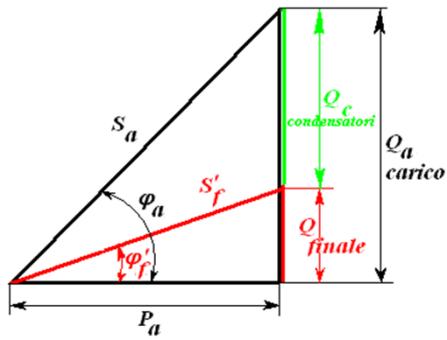


**Corrente distorta (50Hz):**



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:

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

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



106

## Potenza media in regime distorto

Per quanto detto prima:

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

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

Teorema di Parseval:

Data una resistenza da  $1 \Omega$ , attraversata da una corrente  $I$  periodica rappresentabile in forma di Fourier, allora la potenza dissipata dalla resistenza vale:

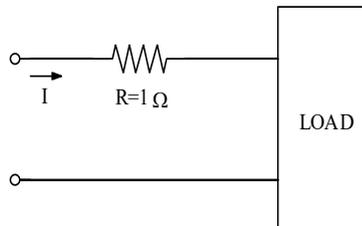
$$P_{1\Omega} = I_{rms}^2 = I_{dc}^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 = I_{dc}^2 + I_{1,rms}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{n,rms}^2$$



109

## Esempio

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



- Se si suppone che per far funzionare correttamente il carico sia sufficiente la sola componente fondamentale, allora le perdite sulla linea sono pari a **1W**.
- 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**).



## 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:

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



## Esempio

Questo aumento indesiderato del valore efficace della corrente, dovuto alle armoniche introdotte dal carico, produce un aumento delle perdite sulla linea pari a  $\Delta p$ , 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).

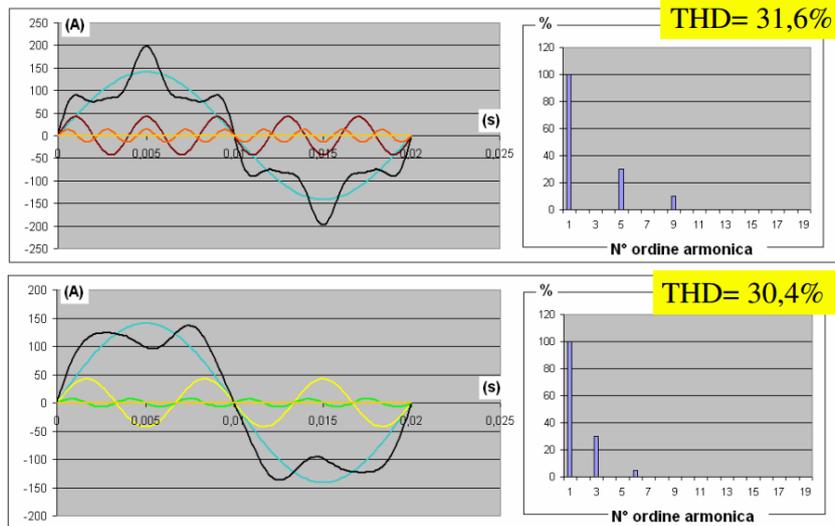
## THD - Total Harmonic Distortion

- 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:

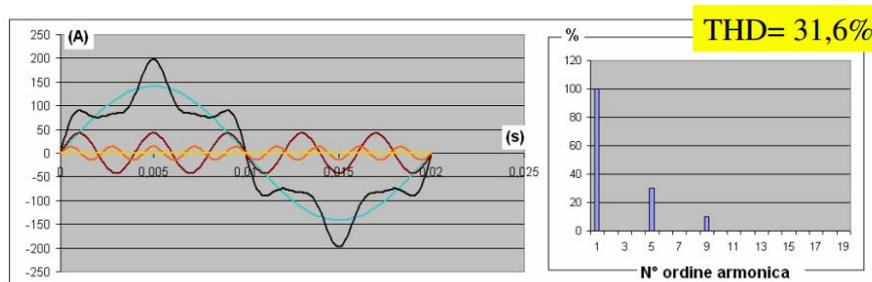
$$\text{THD}_i = \frac{I_{dis}}{I_{s1}} = \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}} = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} I_{sh}^2}}{I_{s1}}$$

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

## Limiti del THD



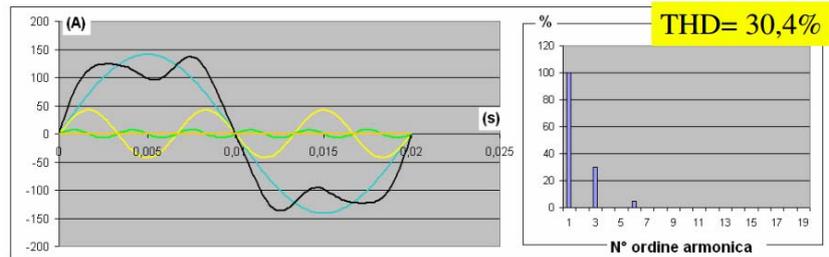
## Limiti del THD



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

## 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)



## 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:

$$CF = \frac{I_{s,M}}{I_s}$$

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

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

## 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:

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



## Potenza media

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

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v_s(t) i_s(t) dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2} V_s \sin \omega_1 t \cdot \sqrt{2} I_{s,1} \sin(\omega_1 t - \varphi_1) dt = V_s I_{s,1} \cos \varphi_1 \end{aligned}$$

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

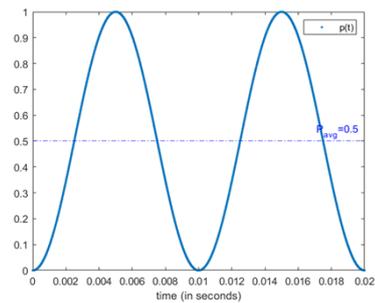
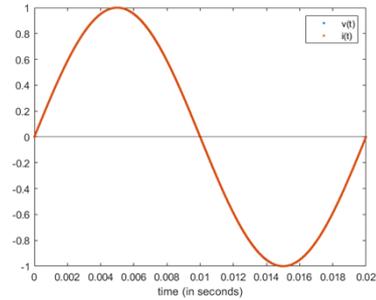
- La potenza attiva, nel caso di sola corrente con contenuto armonico, è associata alla sola componente fondamentale.



## Potenza media

### Tensione e corrente sinusoidali

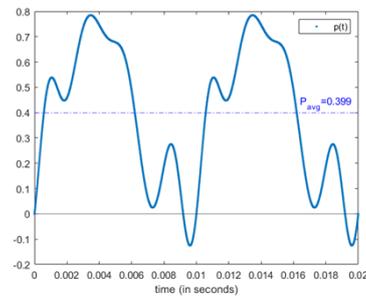
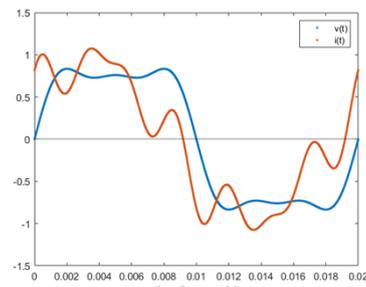
- In questo caso la tensione e la corrente sono sinusoidali e isofrequenziali.
- Il valore efficace di entrambe le grandezze è identico e pari a  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ , quindi stessa potenza apparente.
- Il calcolo della potenza media porta ad ottenere il valore di **0.5 W**.



## Potenza media

### Tensione e corrente distorti

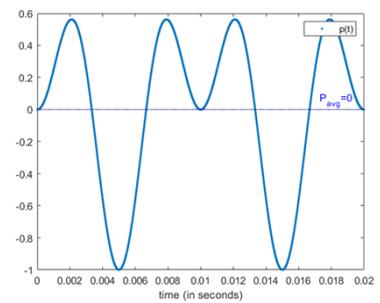
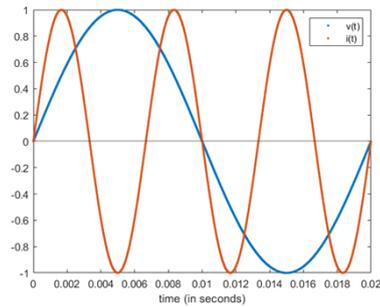
- La tensione e la corrente sono entrambi distorte.
- Le componenti fondamentali sono isofrequenziali.
- Anche in questo caso, il valore efficace di entrambe le grandezze è ancora identico e pari a  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ .
- Tuttavia, calcolando la potenza media si ottiene un valore pari a **0.399 W**.



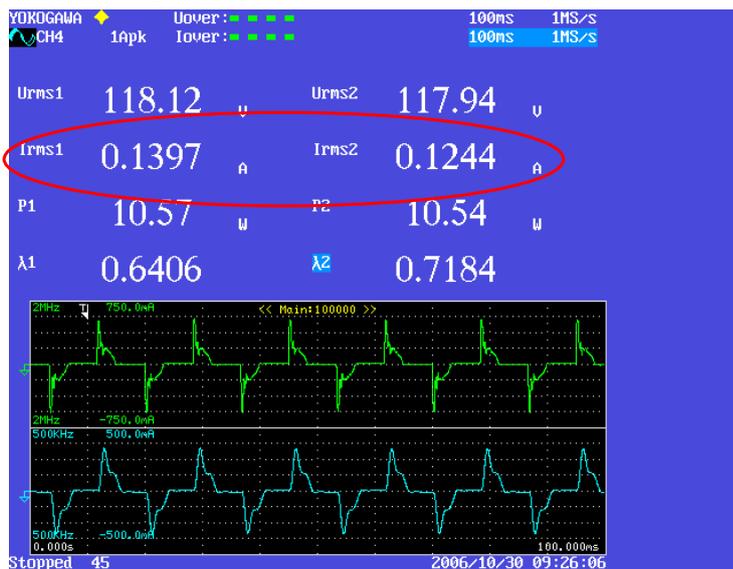
## Potenza media

### 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.



## Gli strumenti di misura...



RMS Current Measurement

Channel 1  
2 MHz B/W

Channel 2  
500 kHz B/W

## Fattore di Potenza

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

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

- In regime sinusoidale puro vale:

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



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

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_S I_{S1} \cos \varphi_1}{V_S I_S} = \frac{I_{S1}}{I_S} \cos \varphi_1 = \frac{\cos \varphi_1}{\frac{I_S}{I_{S1}}} = \frac{\text{DPF}}{\sqrt{1 + \text{THD}_I^2}}$$

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

$$DPF = \cos \varphi_1$$



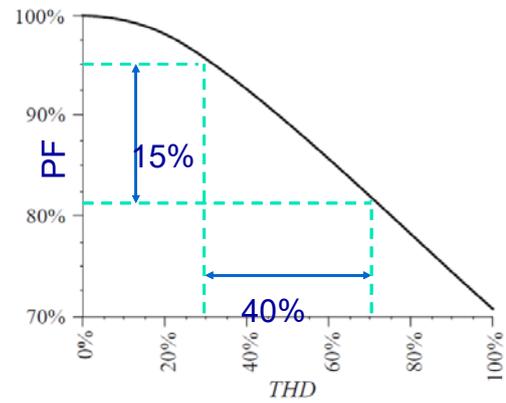
130

## 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.



## UN-Energy Energy Efficiency Cluster

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



UNITED NATIONS

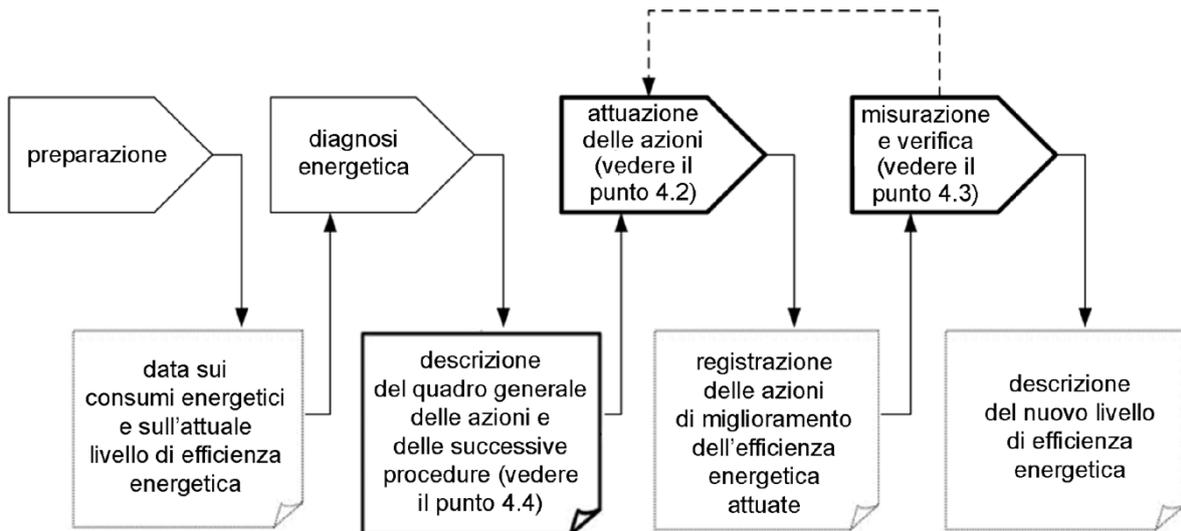


## Industrial Energy efficiency Needs and Goals Addressed

	POLICIES and PROGRAMMES						
	Target-Setting Voluntary Agreements	Industrial Energy Management Standards	Capacity Building for Energy Management and Energy efficiency Services	Delivery of Energy efficiency Products and Services	Equipment & System Assessment Standards	Certification and Labeling of Energy efficiency Performance	Financial Mechanisms and Incentives
<b>EE INFORMATION AND TOOLS</b>							
Increased information on EE technologies and measures			X	X	X	X	
Increased information on EE standards			X	X	X	X	
Improved access to high-quality energy auditing services and assessment tools			X	X		X	
Access to training and tools for energy management (EM)			X			X	
Increased tracking of EE/GHG emissions: GHG inventories, product life-cycle and supply chain energy/GHG assessments	X		X			X	
<b>Robust measurement, monitoring, and verification</b>	X	X	X	X	X	X	
Development of high-quality EE data for analysts, policy-makers	X					X	
International best practice information	X	X	X	X	X	X	X
<b>SKILLED PERSONNEL</b>							
Increased EE training at the college level			X	X			
Technical assistance providers for energy management			X			X	
Improved capability of energy efficiency service providers-assessment and EE services		X		X	X		
Increased EE focus of equipment suppliers and vendors		X	X	X	X		
Increased and enhanced skills of independent measurement and verification experts (GHG, EM, EE)		X	X	X	X	X	
Increased capacity for energy management at industrial facilities	X	X	X	X		X	
<b>INCREASED MANAGEMENT ATTENTION TO EE</b>							
Increased upper management support for energy efficiency/GHG mitigation investments	X	X				X	X
Management commitment to an energy management system	X	X				X	
Sustained, continuous improvement in EE/GHG mitigation	X	X				X	
<b>EE/GHG MITIGATION COSTS AND FINANCING</b>							
Improved access to capital for EE/GHG mitigation investments	X			X			X
Reduce transaction costs associated with smaller EE projects				X			
Improved understanding of among investors and financiers of potential financial returns		X				X	
Training in preparing project and loan request documents				X			
Pricing of energy to reflect actual costs, encourage EE efficiency				X			X
Reduce risks associated with assessing and securitising revenues generated through using less energy				X		X	



## UNI CEI EN 15900: 2016



### 4.3 Verifica del miglioramento di efficienza energetica

La verifica del miglioramento dell'efficienza energetica deve includere, come minimo, le seguenti fasi:

- a) definizione del consumo di riferimento e dei relativi fattori di aggiustamento;
- b) definizione di procedure (inclusi metodi di calcolo o stima concordati contrattualmente) che assicurino una valida comparazione dei consumi energetici;
- c) sviluppo e realizzazione di un piano di misurazione e verifica per la valutazione del miglioramento di efficienza energetica raggiunto;
- d) rendicontazione al cliente ad intervalli concordati. Il rapporto deve includere dettagli relative alle azioni attuate, al miglioramento di efficienza energetica ottenuto e, se applicabile, un raffronto con i livelli di miglioramento definiti contrattualmente.

## 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*



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*



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.*

## Incertezza

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

- misure,
- campioni
- stime
- modelli

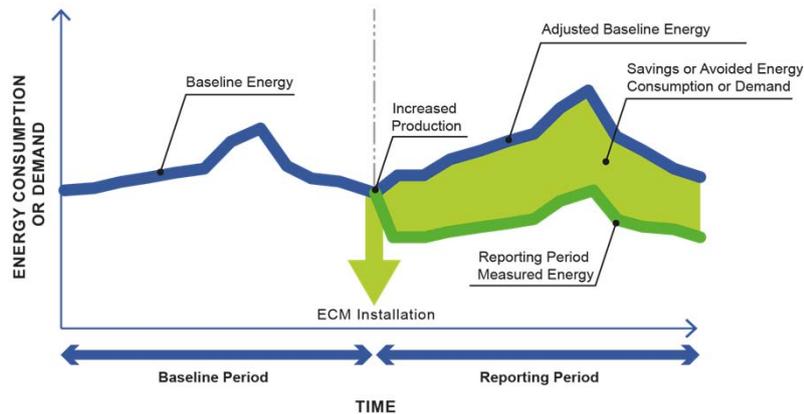
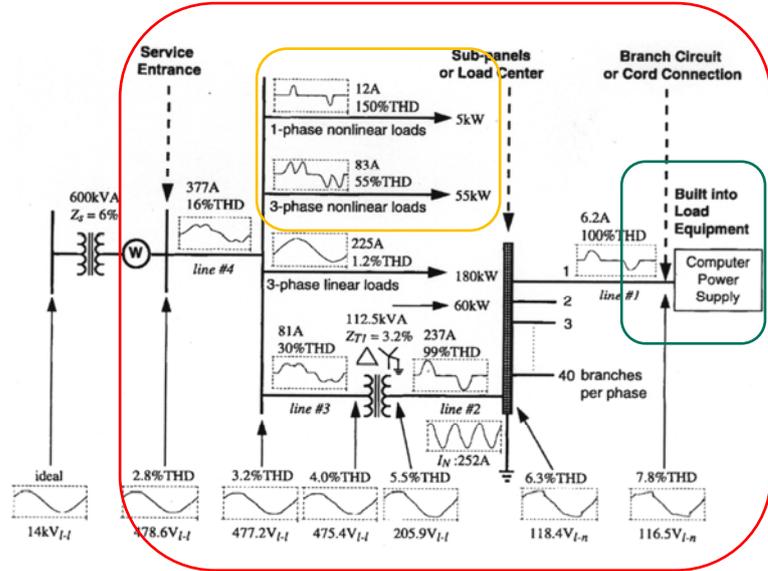
La combinazione di tutte le incertezze porta alla determinazione dell'intervallo di confidenza e, di conseguenza, al limite di confidenza relativo al risparmio misurato.

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

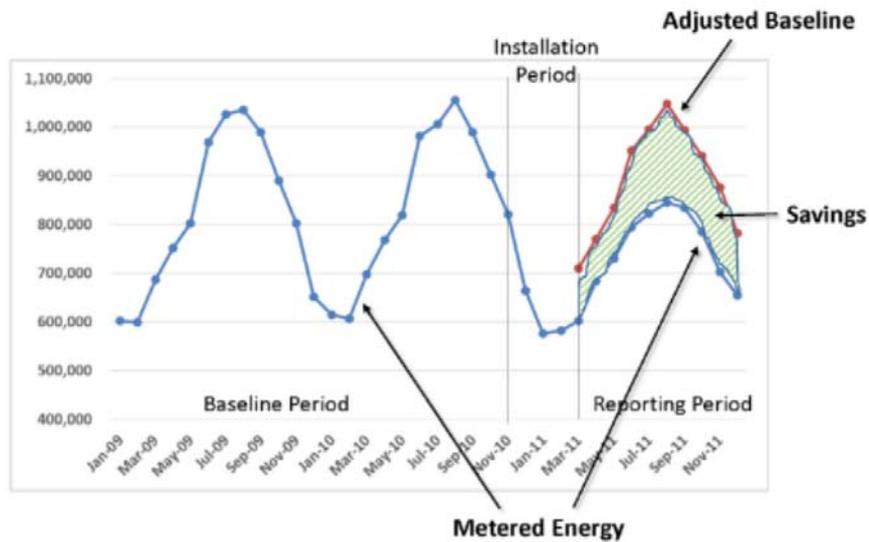
Per i risparmi è necessario un livello di confidenza che va dal 90% al 95%.

## 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 dalle apparecchiature o dei sistemi all'interno del confine devono necessariamente essere misurati o stimati.



$$\text{Risparmi} = \begin{aligned} & (\text{Consumo nel periodo di riferimento} \\ & - \text{Consumo nel periodo di rendicontazione}) \\ & \pm \text{Aggiustamenti} \end{aligned}$$



151

## Energy Saving



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.*



## 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*



## 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

## 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;*
    - *interruttori 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.*

## 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*



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



- 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.

## Criteri di progettazione per Zone/Utilizzo/Maglie

Per procedere alla progettazione nell'ottica dell'efficienza energetica la norma suggerisce di individuare nella struttura da elettrificare:

- a. **le Zone di attività** – La zona rappresenta una superficie della struttura dove si svolgono specifiche attività (ad esempio: un laboratorio, un'officina, la cucina di un albergo, un ufficio open-space, ecc.).
- b. **l'utilizzo dei circuiti** – L'utilizzo dei circuiti consiste nel definire il tipo di servizio che alimentano (ad esempio: illuminazione, produzione di calore, alimentazione motori, ecc.).
- c. **le Maglie** – La maglia è un circuito o un gruppo di circuiti, con i rispettivi apparecchi utilizzatori, identificato come utile per la gestione dell'efficienza energetica. Una maglia può appartenere ad una o più zone con uno o più utilizzi.

**Sarà attraverso le maglie** che si imposterà l'ottimizzazione della gestione dell'energia elettrica con **l'introduzione di apparecchi di misura per il monitoraggio dei consumi**, sensori, attuatori o di qualsiasi altra apparecchiatura che miri a migliorare l'utilizzo dell'elettricità (ad esempio: un termostato di un impianto di riscaldamento, un rilevatore di presenza umana in un sistema di illuminazione, ecc.).

# Il sistema di gestione dell'efficienza energetica e dei carichi

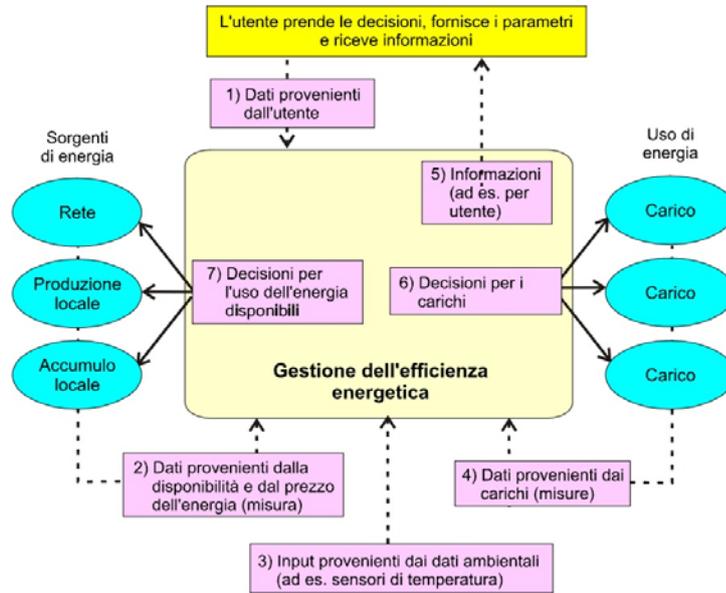


Table B.1 – Determination of load profile in kWh

EM0	EM1	EM2	EM3	EM4
No consideration	Load profile consumption of the installation for a day	Load profile consumption of the installation for each day of a week	Load profile consumption of the installation for each day of a year	Permanent data logging of the load profile consumption of the installation

Table B.2 – Location of the main substation

EM0	EM1	EM2	EM3	EM4
No consideration	Position of the main substation is within 60 % of the distance from the optimum position to the most distant load	Position of the main substation is within 40 % of the distance from the optimum position to the most distant load	Position of the main substation within 25 % of the distance from the optimum position to the most distant load	Position of the main substation is within 10 % of the distance from the optimum position to the most distant load

Confidential Property of Schneider Electric

Table B.3 – Required optimization analysis for motors

EM0	EM1	EM2	EM3	EM4
No consideration	To analyse and monitor motors efficiency class or drives for 30 % of installed power in common parts, if any	To analyse and optimize motors efficiency class or drives for 30 % of installed power in common parts, if any	To analyse and optimize motors efficiency class or drives for 50 % of installed power in common parts, if any	To analyse and optimize motors efficiency class or drives for 70 % of installed power in common parts, if any

Table B.4 – Required optimization analysis for lighting

EM0	EM1	EM2	EM3	EM4
No consideration	To consider lamp type and position	To consider lamp type and position with natural lighting	Control according to natural lighting source or building use or lamp type	Control according to natural lighting source and building use and to consider lamp type

46

## 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

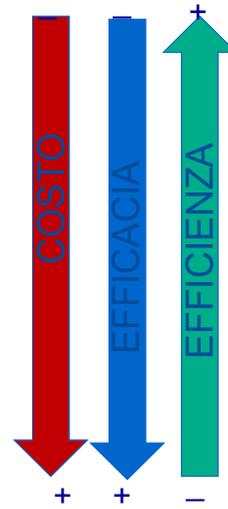
## SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER IL MIGLIORAMENTO DELLA POWER QUALITY



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



169

## L'apparato E-Power



170

## Power Quality e Machine Learning

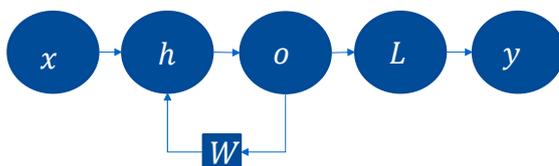
- Tutte le strategie di identificazione, classificazione e mitigazione dei disturbi legati alla Power Quality prevedono l'acquisizione e l'elaborazione di segnali di corrente e tensione estratti dalla rete.
- La fase di elaborazione dei segnali può essere condotta mediante l'utilizzo di varie tecniche 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**



*Recurrent Neural Network Block Diagram*

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

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

$$o^{(t)} = c + \sum_j V_{i,j} h_i^{(t)}$$



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

$$f_i^{(t)} = \sigma \left( b_i^f + \sum_j U_{i,j}^f x_j^t + \sum_j W_{i,j}^f h_j^{(t-1)} \right) \quad (1)$$

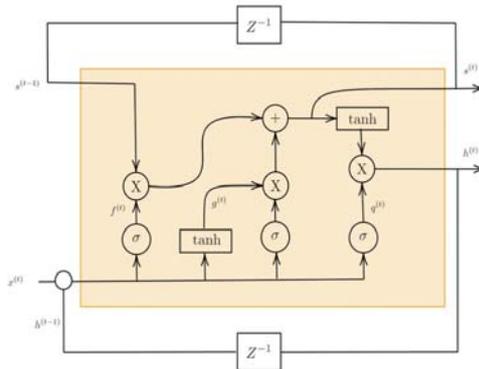
$$s_i^{(t)} = f_i^{(t)} s_i^{(t-1)} + g_i^{(t)} \sigma \left( b_i + \sum_j U_{i,j} x_j^t + \sum_j W_{i,j} h_j^{(t-1)} \right) \quad (2)$$

$$g_i^{(t)} = \tanh \left( b_i^g + \sum_j U_{i,j}^g x_j^t + \sum_j W_{i,j}^g h_j^{(t-1)} \right) \quad (3)$$

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

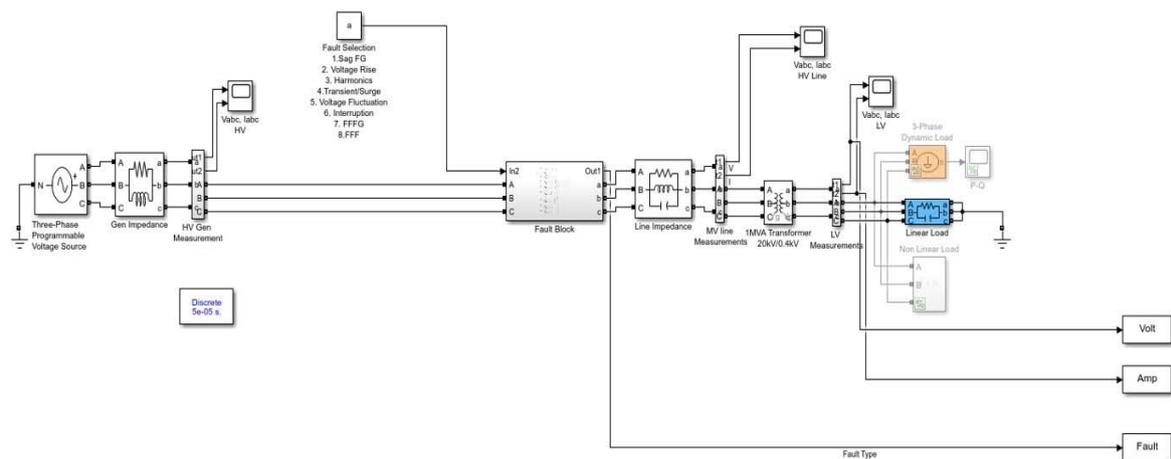
$$q_i^{(t)} = \sigma \left( b_i^o + \sum_j U_{i,j}^o x_j^t + \sum_j W_{i,j}^o h_j^{(t-1)} \right) \quad (5)$$

Long Short-Term Memory Cell Block



173

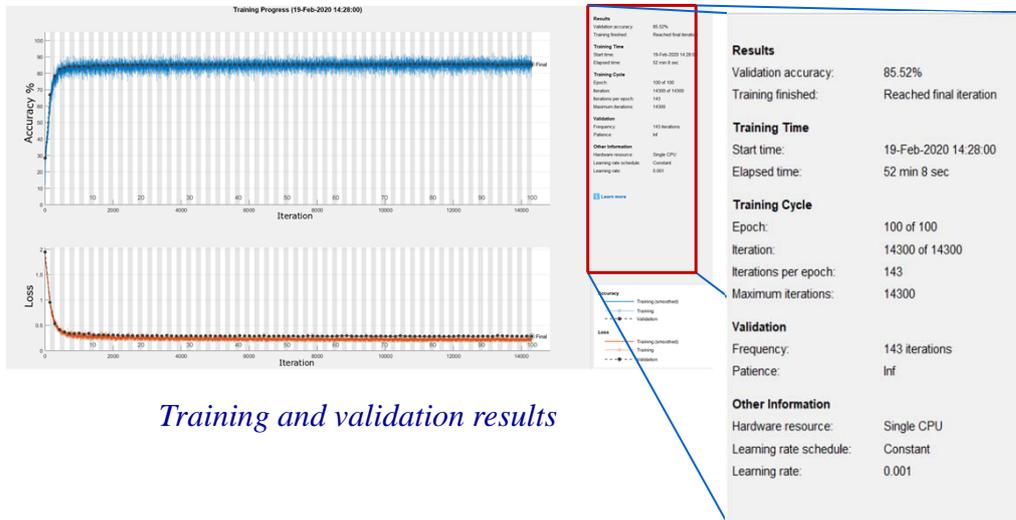
## Modello SIMULINK



Simulink simulation blocks

174

# Training



Training and validation results

# Training and Validation

**Confusion Matrix for Training Data**

0 No Fault	2005					2031				49.7%	50.3%
1 Sag		4011							64	98.4%	1.6%
2 Swell			3898	128	2	38	7			95.7%	4.3%
3 Harmonic				1	4055		19	73		97.8%	2.2%
4 Transient	2057					2042				49.8%	50.2%
5 Notch							53		3979	98.7%	1.3%
6 Interruption									4008	100.0%	
	49.4%	100.0%	100.0%	95.7%	50.1%	98.6%	96.5%				
	50.6%		0.0%	4.3%	49.9%	1.4%	3.5%				

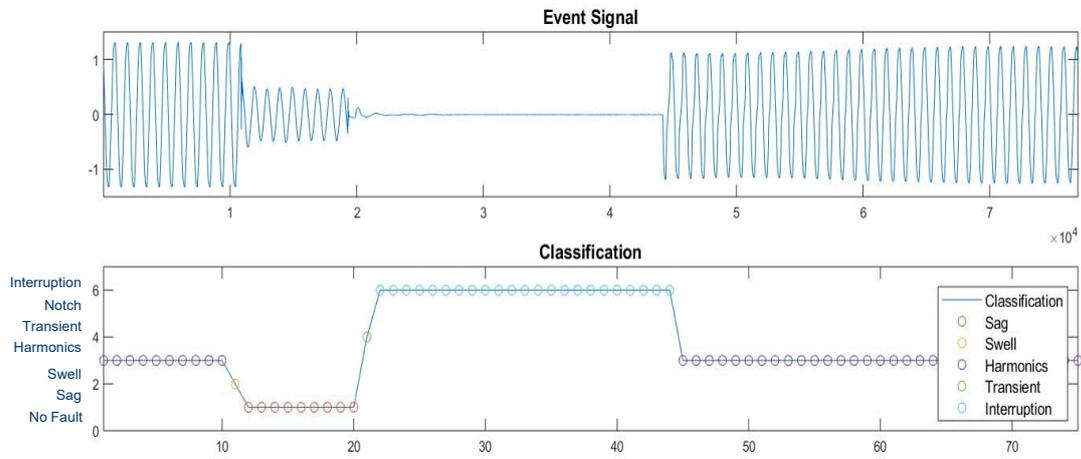
Confusion Matrix for Training Data

**Confusion Matrix for Testing Data**

0 No Fault	720					651				52.5%	47.5%
1 Sag		1289							22	98.3%	1.7%
2 Swell			1271	44		15	5			95.2%	4.8%
3 Harmonic				1370		5	28			97.8%	2.4%
4 Transient	694					663				48.9%	51.1%
5 Notch							17		1333	98.7%	1.3%
6 Interruption									1323	100.0%	
	50.9%	100.0%	100.0%	95.7%	50.5%	98.5%	96.0%				
	49.1%			4.3%	49.5%	1.5%	4.0%				

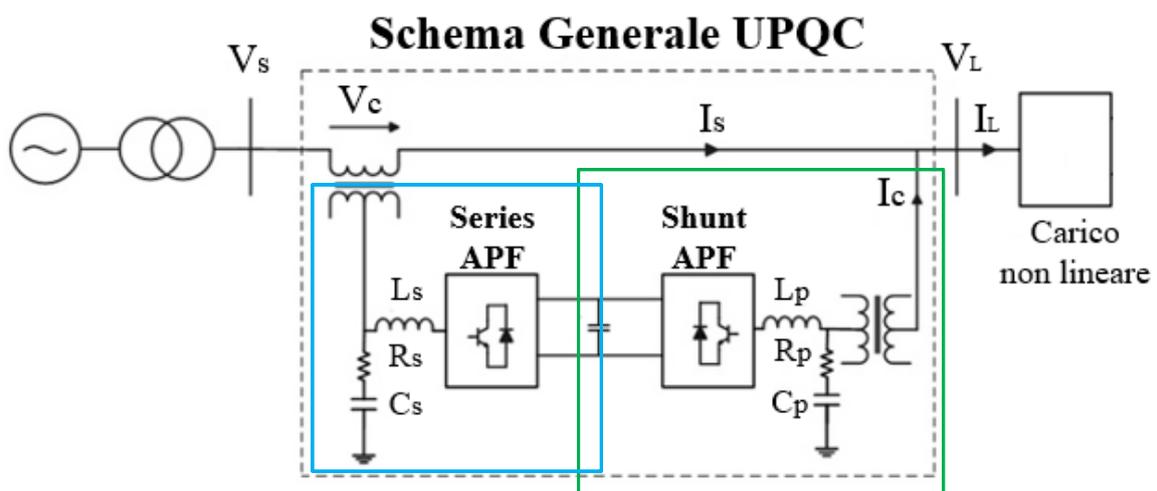
Confusion Matrix for Testing Data

## Testing

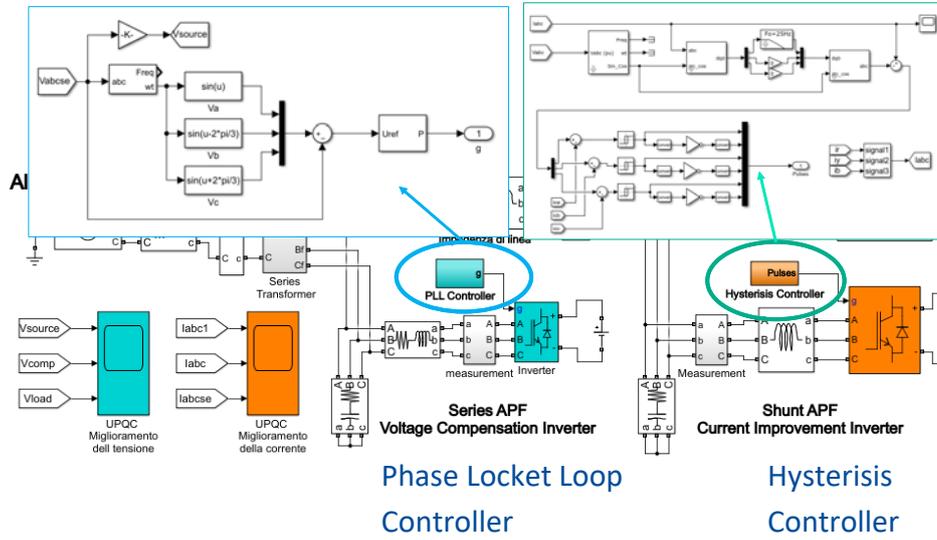


Testing of measured signal for sag and interruption

## Unified Power Quality Conditioner UPQC



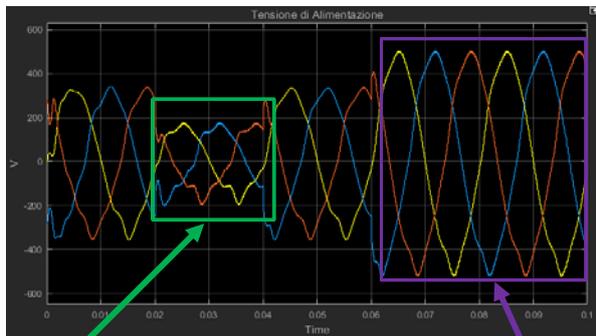
# Modello di UPQC



179

# Simulazioni

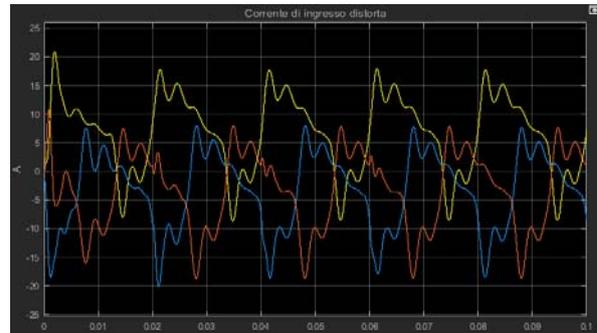
Tensione



Buco di Tensione

Sovratensione

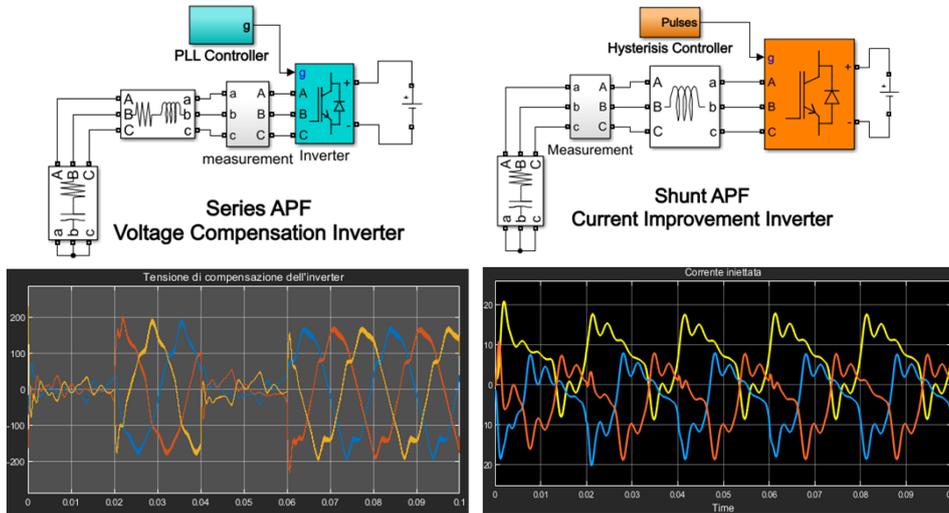
Corrente



THDi % = 63,27 %

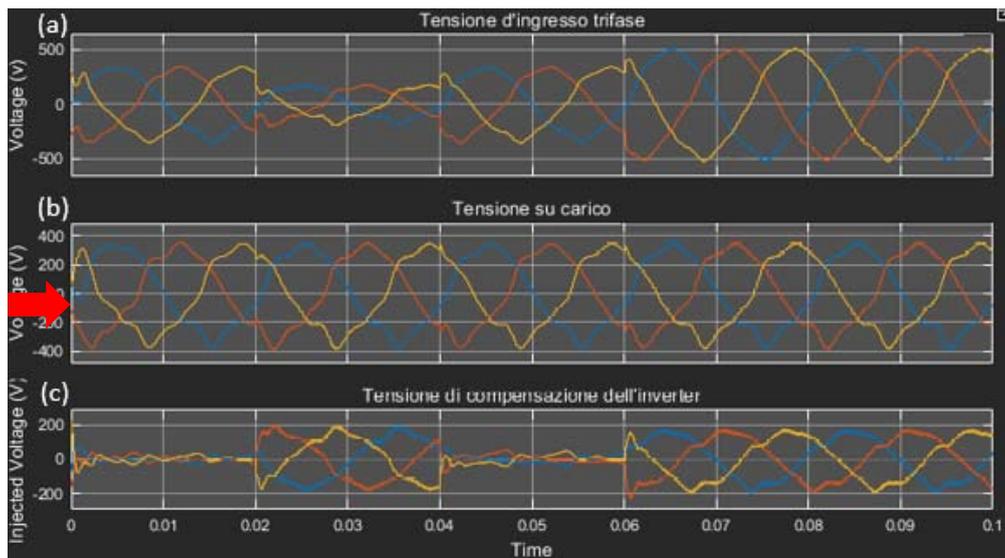
180

Simulazioni



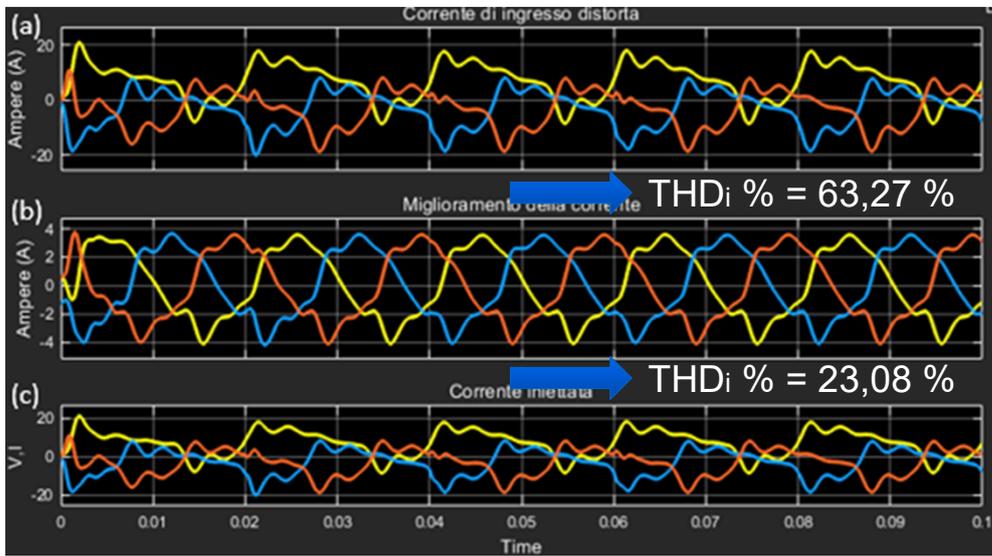
181

Miglioramento della tensione



182

## Miglioramento di corrente



183

## IL LABORATORIO

184









**SMARTENERGY**  
**LAB.eu**

**Laboratorio Congiunto per la Power Quality nei Sistemi Elettrici**




185

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

186

## Le sedi



187

## Sede di Zanè



188

## Sede di Zanè



189

## Sede di Firenze



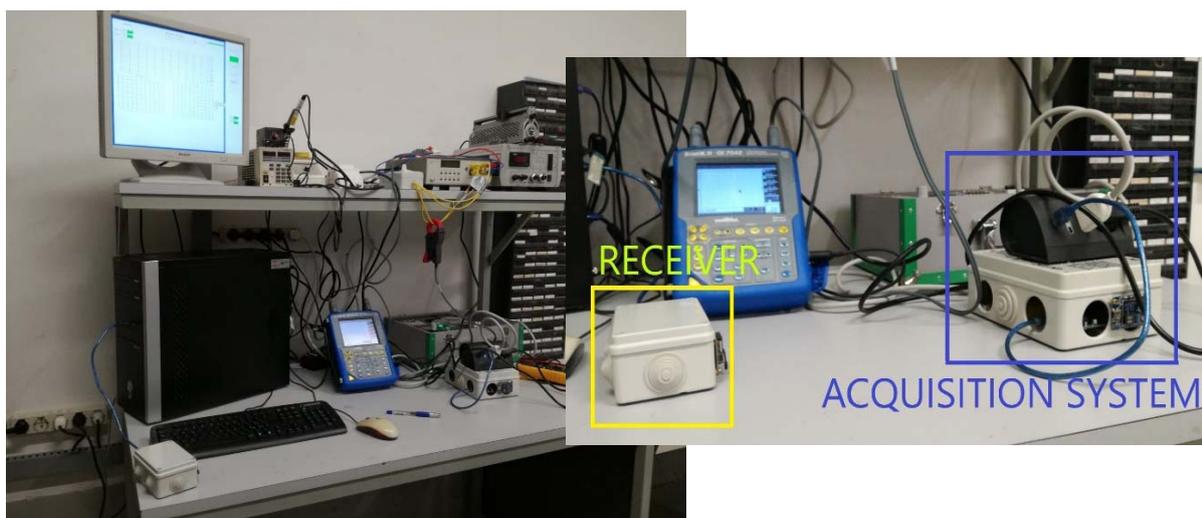
190

## Sede di Firenze



191

## Sede di Firenze



192

## Sede di Calenzano



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
and SAFETY  
LABORATORY

193

193

## Sede di Calenzano



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
and SAFETY  
LABORATORY

194

194

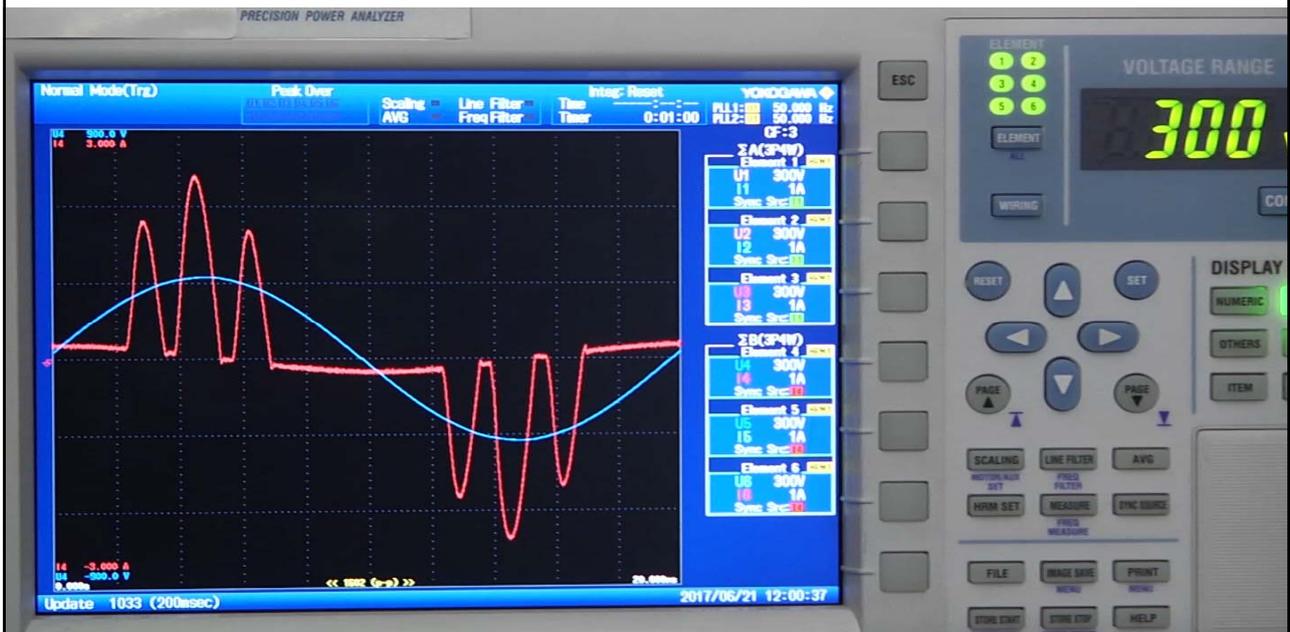
# CHROMA 61512 PROGRAMMABLE AC SOURCE



195

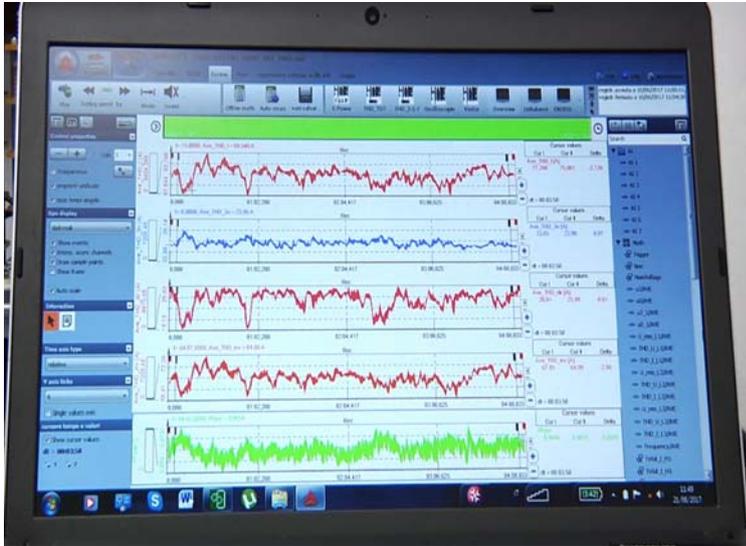
195

# YOKOGAWA WT1800 POWER ANALYZER

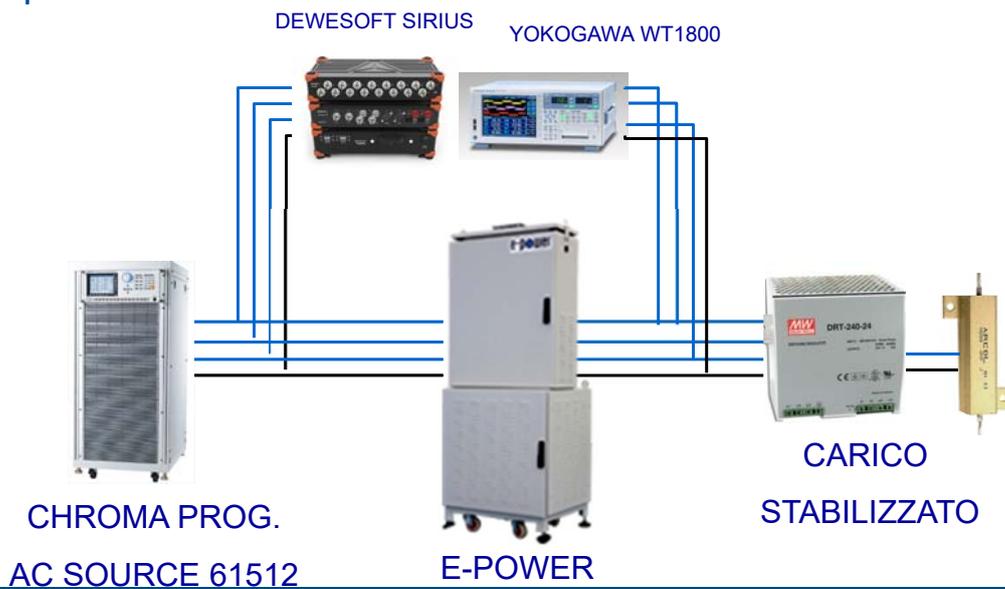


196

## DEWESoft SIRIUS®



## Setup Sperimentale



## Esperimenti in laboratorio



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
AND EFFICIENCY  
LABORATORY

199

199

## Esperimenti in laboratorio



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
AND EFFICIENCY  
LABORATORY

200

200

# Le misure



201

# Modalità Bypass



202

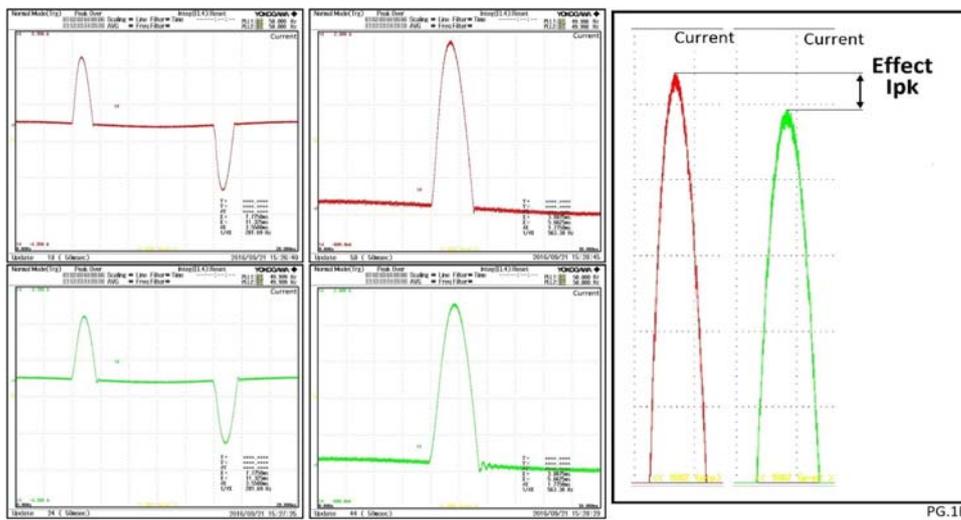
## Modalità Saving



203

## Riduzione dei Picchi di Corrente

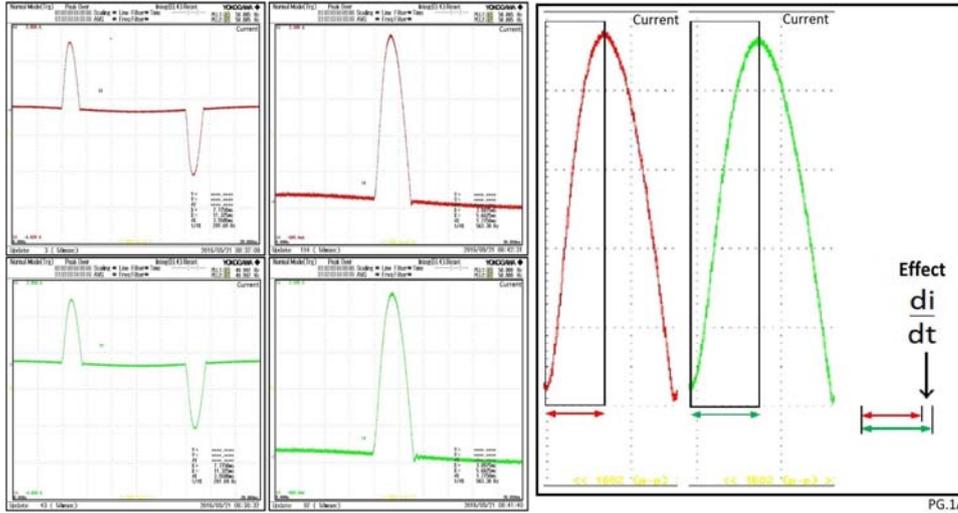
Test di laboratorio su carichi non lineari (switching): si osserva una riduzione significativa del picco di corrente



204

## Corrente Assorbita: Effetto Smoothing

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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
and SAFETY  
LABORATORY

205

205

## INCENTIVI E DETRAZIONI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DINFO  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

SEELAB  
SMART ENERGY  
and SAFETY  
LABORATORY

207

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.*



## 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**.

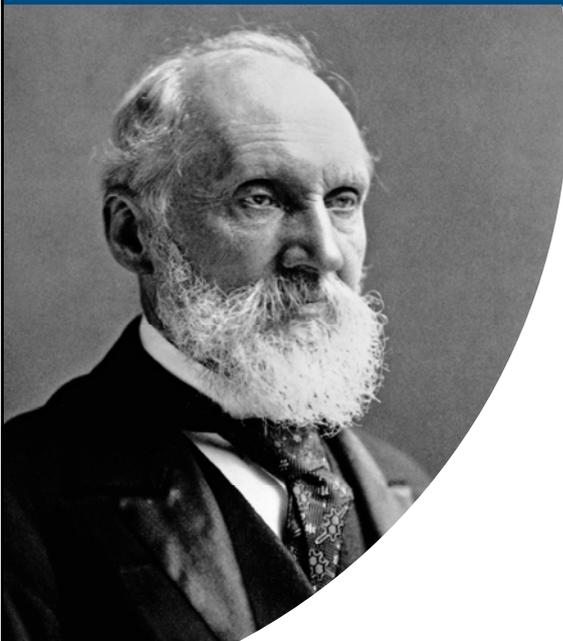


ALLEGATO A  
(Articolo 1, comma 9)

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,



**If You Can't Measure it,  
You Can't Improve it**

William Thomson, Lord Kelvin



energia | power quality  
maximum saving

UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE | **DINFO**  
DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE | **DIEF**  
DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA INDUSTRIALE



**SMARTENERGY**  
**LAB.eu**

Laboratorio Congiunto per la Power Quality nei Sistemi Elettrici



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DINFO**  
Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione

**SEELAB**  
SMART ENERGY  
INTEGRATED  
LABORATORY

212