



**OIBA**  
ORDINE DEGLI INGEGNERI  
della Provincia di Bari

Seminario di formazione  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari - AEIT  
**La qualità del servizio elettrico:  
problematiche ed interventi di mitigazione**  
Mercoledì 26 ottobre 2016 - POLITECNICO DI BARI

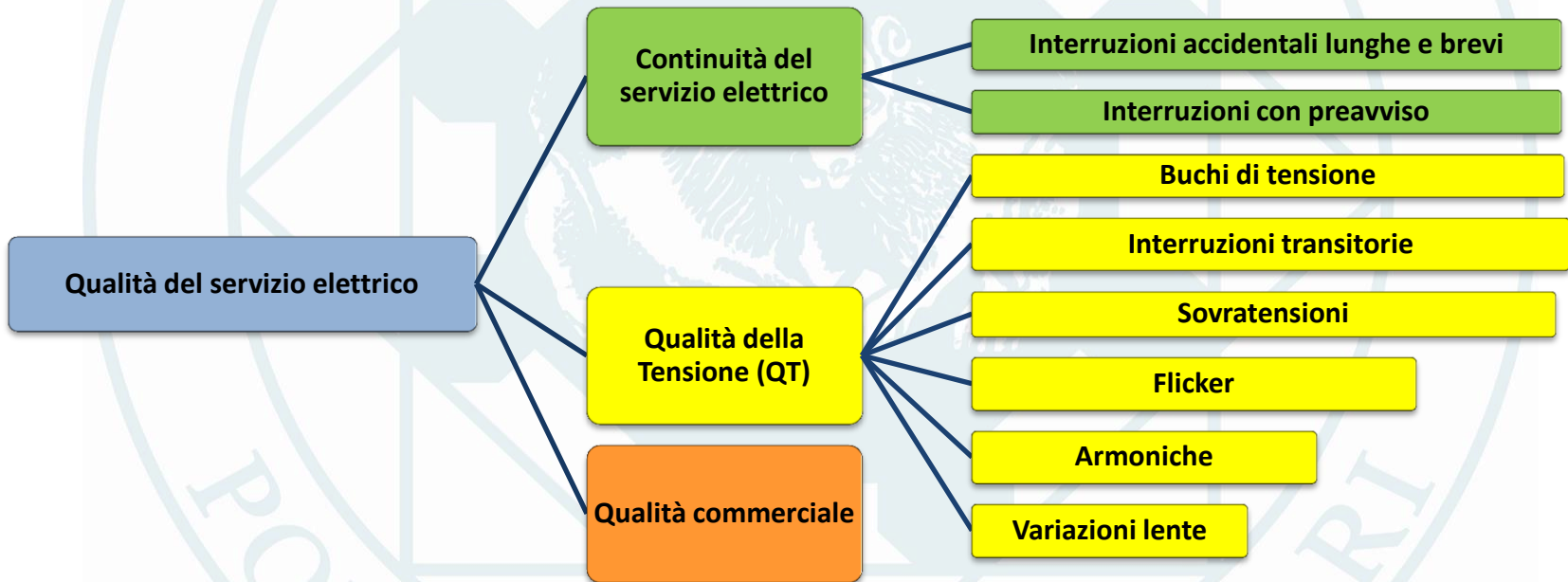
**AEIT** ASSOCIAZIONE  
ITALIANA di  
Elettrotecnica, Elettronica, Automazione,  
Informatica e Telecomunicazioni  
**Sezione Pugliese**

# ***Power Quality: Inquadramento tecnico e normativo***



***Prof. Ing. Massimo La Scala***  
*Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione*  
***Politecnico di Bari***

# La qualità del servizio elettrico (*Power Quality*)



# La continuità del servizio

Per quanto riguarda la riduzione della durata delle interruzioni senza preavviso lunghe, l'Autorità ha adottato un sistema di obblighi, controlli, incentivi e penalità, con lo scopo di:

- **Migliorare la continuità del servizio a livello nazionale.** La durata ed il numero di interruzioni per cliente devono ridursi gradualmente, prevedendo un rimborso forfettario in caso di superamento di alcuni standard di continuità del servizio.
- **Ridurre le differenze tra le diverse zone del Paese**, facendole convergere verso tre soli livelli di qualità (differenziati per le aree ad alta, media e bassa concentrazione). Per accelerare al massimo il miglioramento nelle aree dove il servizio è peggiore sono introdotti incentivi per i miglioramenti aggiuntivi di continuità e penalità per il mancato raggiungimento degli obiettivi assegnati.
- **Assicurare una corretta ed omogenea registrazione delle interruzioni da parte delle imprese distributrici.**
- **Favorire la contrattualizzazione di livelli di continuità e di qualità più elevati rispetto agli standard fissati da AEEG.** E' prevista la possibilità di stipulare **“contratti per la qualità”**.

# Power Quality

Continuità del servizio: **Interruzione**

(CEI EN 50160 e Delibera AEEGSI 646/2015/R/eel del 22/12/2015 -TIQE 2016-2023)

**Interruzione:** la condizione nella quale la tensione al punto di prelievo o immissione dell'energia elettrica di un utente è inferiore al 5% della tensione dichiarata su tutte le fasi di alimentazione (definizione tratta dalla norma CEI EN 50160).



## **INTERRUZIONE CON PREAVVISO (programmata):**

interruzione con preavviso è l'interruzione dovuta **all'esecuzione di interventi e manovre programmati** sulla rete di distribuzione, **preceduta dal preavviso.**

## **INTERRUZIONE SENZA PREAVVISO:**

accidentale, causata da guasti transitori o permanenti, principalmente legati ad eventi esterni, a guasti di apparecchiature o a interferenze di terzi.

- ✓ **interruzione transitoria: durata  $\leq 1$  s**
- ✓ **interruzione breve: durata  $> 1$  s e  $\leq 3$  min**
- ✓ **interruzione lunga: durata  $> 3$  min**

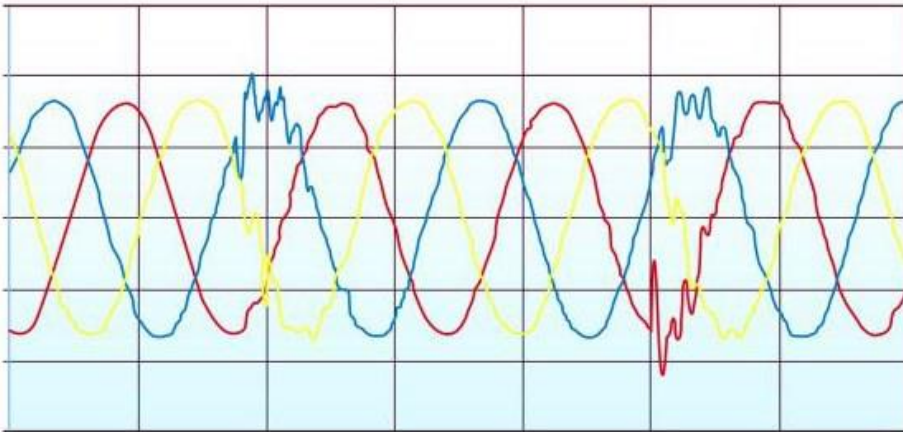
## TIQE

### Testo Integrato della Regolazione dei Servizi di Distribuzione e Misura dell'energia Elettrica

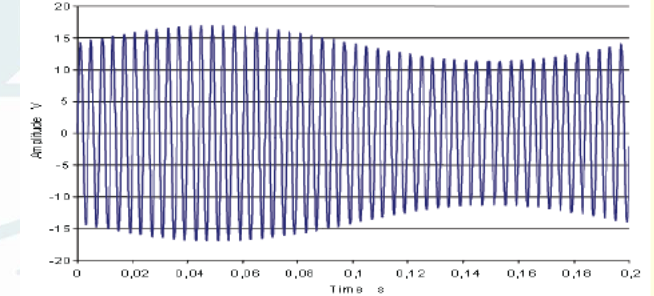
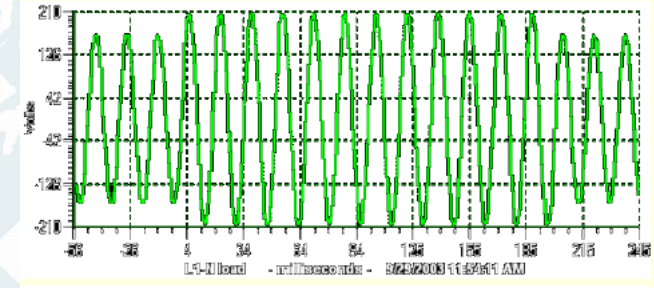
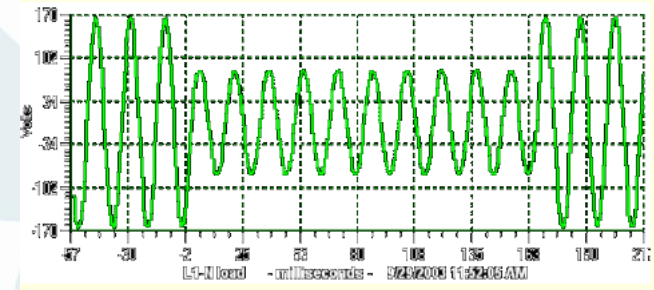
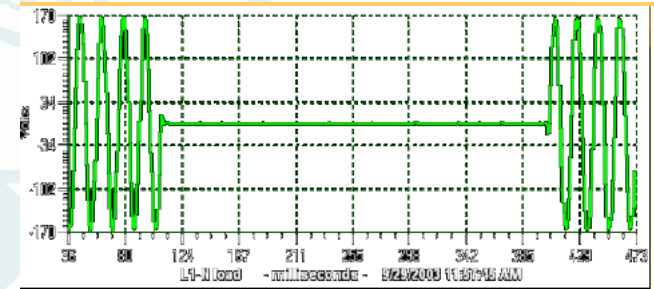
La continuità del servizio è regolata in relazione alle caratteristiche del territorio servito. Sono stati, quindi, definiti tre diversi gradi di concentrazione, in base alla densità abitativa del territorio, distinguendo tra:

- ✓ Città con **più di 50.000 abitanti (alta concentrazione)**,
- ✓ Centri di medie dimensioni compresi **tra 5.000 e 50.000 abitanti (media concentrazione)**,
- ✓ Piccoli paesi e nuclei di campagna con **meno di 5.000 abitanti (bassa concentrazione)**.

# La Qualità della Tensione



- Distorsione armonica
- Microinterruzioni
- Abbassamenti di tensione e sovratensioni
- Buchi di tensione
- Transitori
- Frequenza nominale della tensione fornita
- Flicker - variazioni rapide della tensione
- Squilibrio delle tensioni



# CEI EN 50160

## *Critiche*

CEI EN 50160 (CEI 110-22) Edizione marzo 2000, edizione II, fascicolo 5564

“Non è possibile indicare valori tipici per la frequenza annuale e per la durata delle lunghe interruzioni ....”

“valori indicativi: in condizioni normali di esercizio, la frequenza annuale delle interruzioni con durata maggiore di tre minuti può essere **meno di 10 o fino a 50**, a seconda della zona”.

“valori indicativi: in condizioni normali di esercizio, il numero annuale di **brevi interruzioni** può variare da qualche decina a parecchie **centinaia**”.

“valori indicativi: in condizioni normali di esercizio, il numero atteso dei **buchi di tensione** in un anno può **variare da qualche decina fino a un migliaio**”.

# CEI EN 50160

Towards Voltage Quality Regulation in Europe  
European Regulators Group for Electricity and Gas, 2007

*It is important to revise the EN 50160 standard because:*

- *It reflects the **lowest quality** levels throughout Europe, rather than the average or the best levels.*
- *It **does not provide long term incentives** to promote voltage quality in networks.*

*The limits set in EN 50160 **are no longer adequate for electricity customers.**  
Especially non-binding indicative values must be revised as they are outdated.*

***Responsibilities between equipment and network could be separated through a good classification. Coordination with technical standards for appliances.***

***Power quality contracts: Guidelines could be developed***



# Qualità della tensione: la norma EN 50160

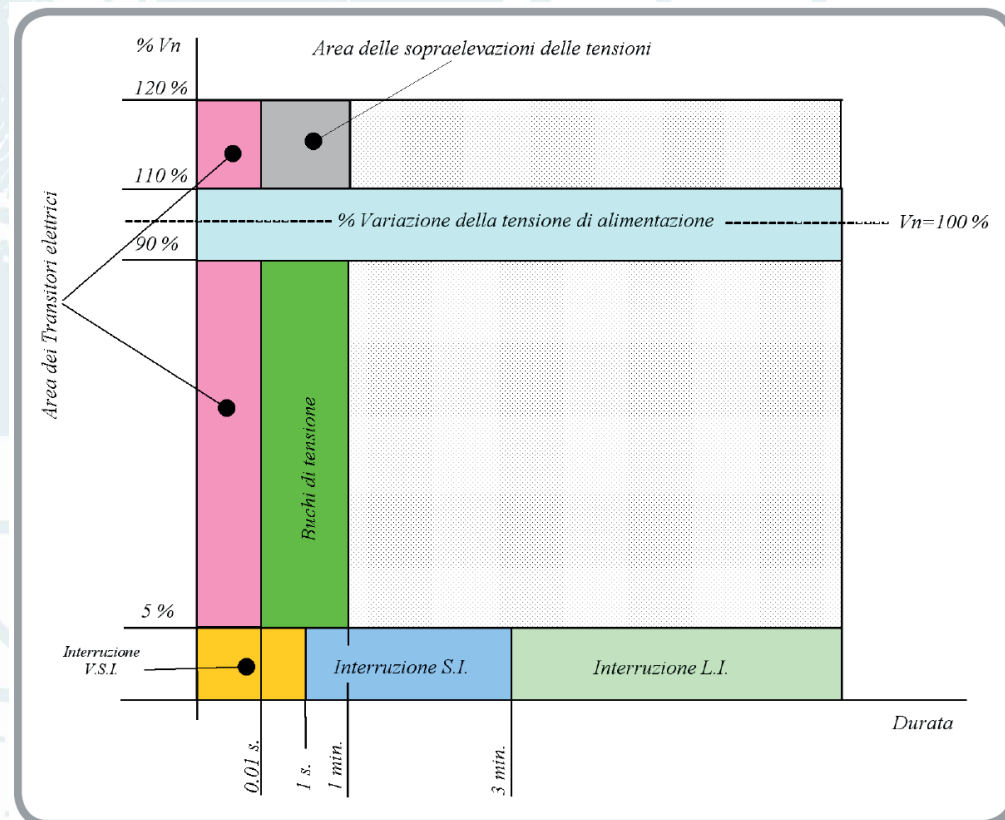
Definisce, descrive e specifica le **caratteristiche principali della tensione** ai terminali di alimentazione di un **utente della rete pubblica** in bassa, media e alta tensione in corrente alternata, in normali condizioni di esercizio.

**Escludendo** quindi condizioni dipendenti dall'impraticabilità degli operatori a mantenere i regolari flussi di energia a causa, ad esempio, di **calamità naturali, interruzioni programmate ecc.**

Sono definiti parametri caratteristici per le seguenti grandezze elettriche:

- ✓ **frequenza;**
- ✓ **ampiezza;**
- ✓ **forma d'onda;**
- ✓ **simmetria delle tensioni di fase.**

Applicazione grafica della norma EN50160  
Fonte: Schneider Electric, 2013

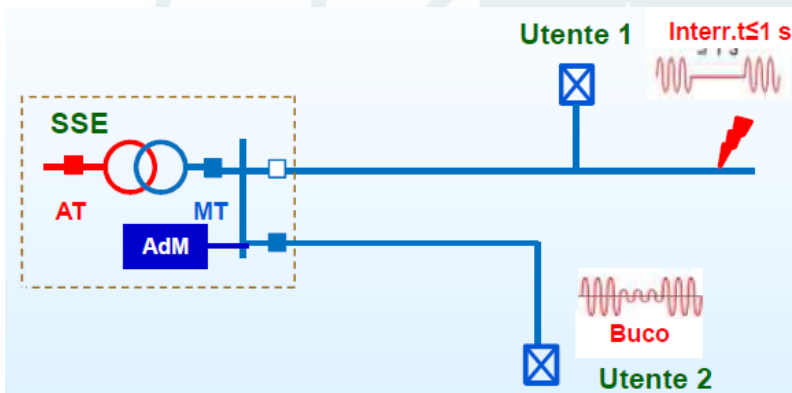


# Power Quality

## Continuità del servizio: **Buco di Tensione**

(CEI EN 50160 e Delibera AEEGSI 646/2015/R/eel del 22/12/2015 -TIQE 2016-2023)

**Buco di tensione** è la riduzione temporanea della tensione al di sotto del 90% della tensione dichiarata per un periodo superiore o uguale a 10 millisecondi e non superiore a 1 minuto, ove non sussistano le condizioni di interruzione (definizione tratta dalla norma CEI EN 50160); il buco di tensione unipolare è un buco di tensione che interessa una sola fase.

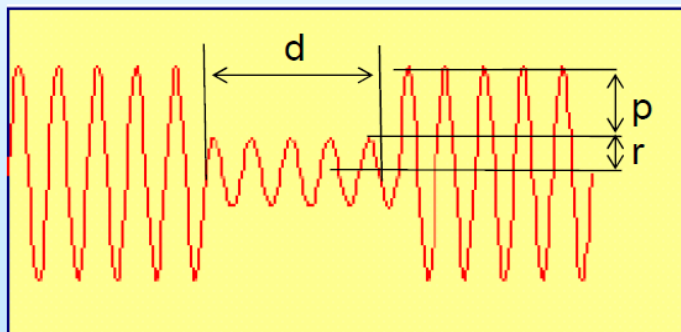


### **PRINCIPALI CAUSE:**

Guasti, correnti d'inserzione dei trasformatori, dei condensatori, correnti di spunto di grossi motori, carichi fortemente variabili.

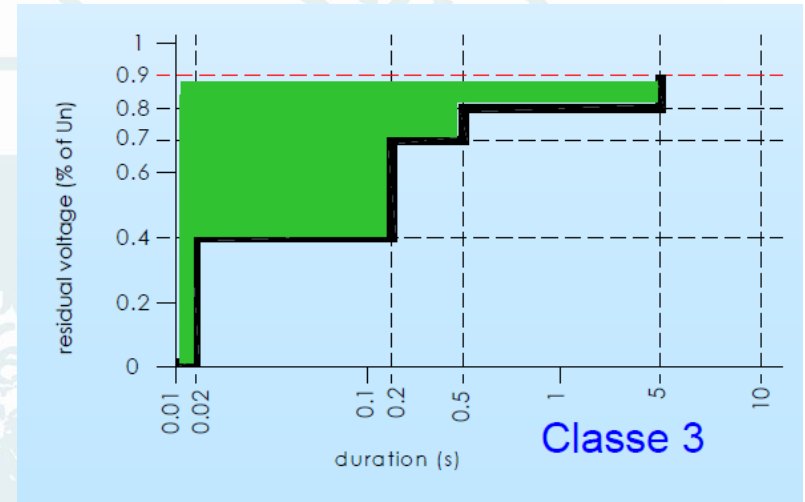
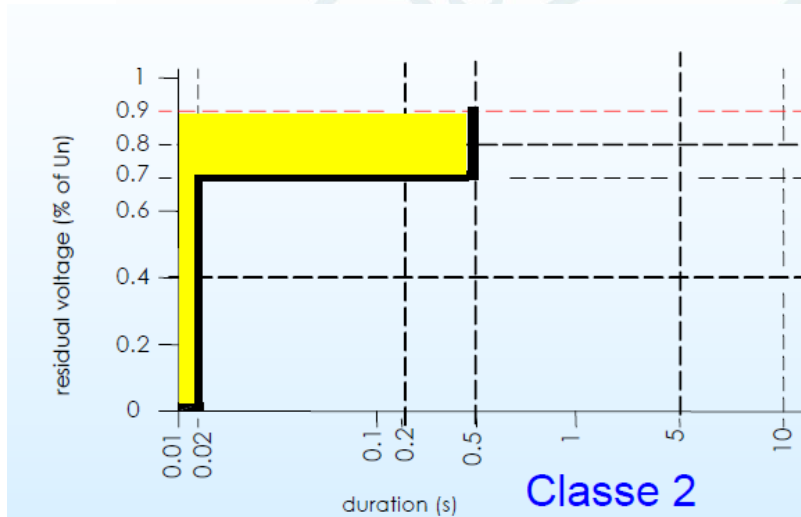
### **PRINCIPALI EFFETTI:**

Interventi intempestivi dei relais, dei contattori, arresto funzionamento processi industriali, malfunzionamento apparati elettronici.



d: durata p: profondità r: tensione residua

# Immunità ai buchi di tensione secondo norme CEI EN 61000



Curve di immunità di riferimento definite in base ai **livelli prova classe 2 e 3 secondo:**

- **CEI EN 61000-4-11** (apparecchiature con corrente di fase inferiori a 16 A)
- **CEI EN 61000-4-34** (apparecchiature con corrente Classe 2 di fase superiori a 16 A)

# Classificazione dei buchi di tensione secondo la tensione residua e la durata CEI EN 50160

Tensione residua $u$ (%)	Durata $t$ (ms)				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELLA A1	CELLA A2	CELLA A3	CELLA A4	CELLA A5
$80 > u \geq 70$	CELLA B1	CELLA B2	CELLA B3	CELLA B4	CELLA B5
$70 > u \geq 40$	CELLA C1	CELLA C2	CELLA C3	CELLA C4	CELLA C5
$40 > u \geq 5$	CELLA D1	CELLA D2	CELLA D3	CELLA D4	CELLA D5
$5 > u$	CELLA X1	CELLA X2	CELLA X3	CELLA X4	CELLA X5

Apparecchiature di misura conformi a EN 61000-4-30.

## Valori indicativi attualmente disponibili

La grande maggioranza dei buchi di tensione ha una durata inferiore a 1 s ed una tensione residua superiore al 40 %.

Tuttavia, buchi di tensione con una tensione residua inferiore ed una durata superiore possono verificarsi raramente.

In alcune zone, buchi di tensione con una tensione residua compresa tra il 90 % e l'85 % di  $U_c$  possono verificarsi molto frequentemente a causa delle commutazioni di carichi negli impianti degli utenti della rete.

# Apparecchi sensibili

## CEI 0-16:2012-12

	FENOMENO CONSIDERATO	APPARECCHIO SENSIBILE	CONSEGUENZE
(a)	Buchi di tensione: $\Delta U \leq 30\% U_N$ $\Delta t \leq 60 \div 100$ ms	Apparati elettronici digitali di controllo di processo o macchinari calcolatori in genere	Arresti e/o anomalie dei processi/macchinari
		Azionamenti a velocità variabile (elettronica di potenza)	Interventi delle protezioni dell'elettronica di potenza
	Buchi di tensione: $\Delta U \geq 30\% U_N$ $\Delta t \leq 60 \div 100$ ms	In aggiunta a quanto sopra, caduta dei dispositivi elettromeccanici (relé ausiliari, teleruttori)	Arresto quasi globale di tutte le utenze
(b)	Sovratensioni non impulsive (lunga durata)	Motori e macchine elettriche Bobine di contattori Lampade a incandescenza	Riduzione di vita degli isolamenti
	Variazioni lente di tensione $\Delta U = \pm 10\% U_N$	Impianti di illuminazione Gli stessi apparecchi di <b>(a)</b> e <b>(b)</b>	In caso di riduzione, rallentamento o arresto di motori elettrici: le stesse conseguenze di <b>(a)</b> e <b>(b)</b>
	Sovratensioni impulsive	Componenti elettronici sia di controllo che di potenza.	Perforazione isolamenti
		Motori, cavi e macchinario elettrico in genere	Danneggiamento ai circuiti elettronici
	Transitori di commutazione (ponti convertitori, tecniche chopper)	Linee trasmissione dati e segnali a basso livello di potenza. Apparecchi elettronici di controllo	Malfunzionamento dei sistemi di controllo e di elaborazione dati.
	Armoniche	Condensatori	Sovrariscaldamento e danneggiamento condensatori
		Relé di protezione	Interventi intempestivi relé di protezione
		Collegamenti a basso livello di potenza	Malfunzionamento sistemi di controllo e trasmissione dati
		Motori e macchine rotanti	Incremento delle perdite di motori, trasformatori e cavi e conseguente.
		Trasformatori Cavi elettrici	Sovrariscaldamento
	Dissimmetrie e squilibri	Motori elettrici e macchine rotanti in genere	Sovrariscaldamento

# Apparecchiature disturbanti

Apparecchi	Disturbi generati					
	SQ	FT	VT	AR	FS	RE
<b>Motori</b> - asincroni (es compressori) - a velocità variabile	√ √	√ √	√	√ √		
<b>Trasformatori</b>			√	√		
<b>Convertitori</b> - ca/cc - ca/ca e cicloconverter			√ √	√ √	√	
<b>Elettroerosione</b>				√		
<b>Lampade a scarica</b>			√			
<b>Televisori (computer)</b>			√	√		
<b>Radiologia</b>			√	√		

SQ= squilibrio, dissimmetria; FT=flicker; VT=variazioni di tensione; AR=armoniche;  
 FS=frequenze spurie; RE=radioemissione

# Impianti di produzione disturbanti

Impianti	Disturbi generati					
	SQ	FT	VT	AR	FS	RE
Impianti eolici connessi con - generatori asincroni - idem, a doppia alimentazione		√ √	√ √	√	√	√
Generatore sincrono + convertitore statico ca/ca		√	√	√	√	√
Impianti connessi tramite generatori asincroni			√			
Impianti connessi tramite convertitori - cc/ca - ca/cc – cc/ca				√ √	√ √	√ √

SQ= squilibrio, dissimmetria; FT=flicker; VT=variazioni di tensione; AR=armoniche;  
FS=frequenze spurie; RE=radioemissione

# Squilibrio di potenza tra le fasi: CEI 0-21

Impianti di produzione monofase in bt max 6 kW (in deroga max 10kW)

Per impianti trifase realizzati con più unità monofase, in condizioni di funzionamento normale resta valido il limite di 6 kW per il massimo squilibrio tra le fasi.

Tale limite può essere superato in maniera transitoria:

## Squilibrio di potenza tra le fasi

- ✓ *Permanente:* **squilibrio  $\leq$  6 kW**
- ✓ *Temporaneo per 30 min:* **6 kW < squilibrio  $\leq$  10 kW**
- ✓ *Temporaneo per 1 min:* **squilibrio > 10 kW**

Un automatismo deve garantire il distacco al superamento di uno dei limiti di squilibrio transitorio.



# Interruzioni e buchi di tensione

## Effetti sui carichi

- interventi intempestivi di relè di minima tensione e di contattori
- irregolarità nel funzionamento dei motori
- malfunzionamenti di **apparati elettronici digitali, elettronica di potenza, lampade**

## Contromisure lato Rete

- ✓ **Protezione dalle sovratensioni di origine esterna**
- ✓ **Reti di distribuzione in cavo**
- ✓ **Manutenzione preventiva**
- ✓ **Cabine primarie**

## Contromisure lato Cliente

- ✓ **Adeguamento cabine di utenze (art.39 TIQE, DG+PG guasti terra, selettività)**
- ✓ **Desensibilizzazione contattori e azionamenti statici**
- ✓ **UPS per sistemi di controllo**
- ✓ **Custom power**

# Buchi di Tensione: Italia



Vincoli specificati	
Grandezza	Buchi
Data iniziale	05/01/2015
Data finale	03/01/2016
Regione	Tutte
Estensione	Tutte
Tensione nominale	Tutte
Potenza [kVA]	Tutte
Stato Neutro	Tutti
Aggregabilità	<b>CABINE PRIMARIE</b>

Numero totale di punti di misura aggregati: 400  
 Punti di misura equivalenti nel periodo considerato: 166.8  
 Numero totale di settimane: 52

Buchi di Tensione nel periodo considerato		
Tensione residua [%]	Numero di buchi	Durata media [s]
85...90	6565	0.224
70...85	7544	0.198
40...70	4660	0.222
10...40	1505	0.205
1...10	89	0.162

Buchi di Tensione nel periodo considerato (EN50160)		
Tensione residua [%]	Numero di buchi	Durata media [s]
80...90	10042	0.215
70...80	4067	0.199
40...70	4660	0.222
5...40	1577	0.204
1...5	17	0.140

Numero medio di Buchi di Tensione MT per punto di misura equivalente nel periodo considerato						
		Durata buchi				
		20-100 ms	100-500 ms	500-1000 ms	1-3 s	3-60 s
T. residua [%]	85...90	27.1	9.5	1.9	0.6	0.2
	70...85	20.8	21.1	2.9	0.4	0.0
	40...70	5.8	21.1	0.8	0.1	0.1
	10...40	1.0	7.5	0.5	0.0	0.0
	1...10	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0

Il 95% dei punti di misura aggregati ha un numero di buchi minore o uguale a quello indicato in tabella (95° Percentile)						
		Durata buchi				
		20-100 ms	100-500 ms	500-1000 ms	1-3 s	3-60 s
T. residua [%]	85...90	66	34	5	2	0
	70...85	57	87	5	2	0
	40...70	21	69	2	1	0
	10...40	5	24	1	0	0
	1...10	0	3	0	0	0

Numero medio di Buchi di Tensione MT per punto di misura equivalente nel periodo considerato (EN50160)						
		Durata buchi				
		20-200 ms	200-500 ms	500-1000 ms	1-5 s	5-60 s
T. residua [%]	80...90	47.9	7.9	3.3	1.0	0.1
	70...80	17.2	5.6	1.5	0.1	0.0
	40...70	20.2	6.7	0.8	0.1	0.1
	5...40	6.9	2.1	0.5	0.0	0.0
	1...5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Il 95% dei punti di misura aggregati ha un numero di buchi minore o uguale a quello indicato in tabella (95° Percentile) - EN50160						
		Durata buchi				
		20-200 ms	200-500 ms	500-1000 ms	1-5 s	5-60 s
T. residua [%]	80...90	121	37	8	3	0
	70...80	48	23	2	1	0
	40...70	59	33	2	1	0
	5...40	24	9	1	0	0
	1...5	0	0	0	0	0

# Buchi di Tensione: Puglia



Vincoli specificati	
Grandezza	Buchi
Data iniziale	05/01/2015
Data finale	03/01/2016
Regione	PUGLIA
Estensione	Tutte
Tensione nominale	Tutte
Potenza [kVA]	Tutte
Stato Neutro	Tutti
Aggregabilità	CABINE PRIMARIE

Numero totale di punti di misura aggregati: 21  
 Punti di misura equivalenti nel periodo considerato: 10.4  
 Numero totale di settimane: 52

Buchi di Tensione nel periodo considerato		
Tensione residua [%]	Numero di buchi	Durata media [s]
85...90	459	0.126
70...85	463	0.177
40...70	332	0.244
10...40	145	0.196
1...10	3	0.283

Buchi di Tensione nel periodo considerato (EN50160)		
Tensione residua [%]	Numero di buchi	Durata media [s]
80...90	668	0.137
70...80	254	0.192
40...70	332	0.244
5...40	148	0.198
1...5	0	-

Numero medio di Buchi di Tensione MT per punto di misura equivalente nel periodo considerato						
		Durata buchi				
		20-100 ms	100-500 ms	500-1000 ms	1-3 s	3-60 s
T. residua [%]	85...90	29.0	13.8	1.0	0.3	0.0
	70...85	14.7	29.0	0.7	0.1	0.0
	40...70	2.8	28.1	0.8	0.3	0.0
	10...40	0.9	13.0	0.1	0.0	0.0
	1...10	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0

Il 95% dei punti di misura aggregati ha un numero di buchi minore o uguale a quello indicato in tabella (95° Percentile)						
		Durata buchi				
		20-100 ms	100-500 ms	500-1000 ms	1-3 s	3-60 s
T. residua [%]	85...90	54	31	3	1	0
	70...85	31	124	2	0	0
	40...70	7	63	2	1	0
	10...40	2	32	0	0	0
	1...10	0	1	0	0	0

Numero medio di Buchi di Tensione MT per punto di misura equivalente nel periodo considerato (EN50160)						
		Durata buchi				
		20-200 ms	200-500 ms	500-1000 ms	1-5 s	5-60 s
T. residua [%]	80...90	49.4	13.3	1.2	0.4	0.0
	70...80	14.8	9.1	0.5	0.0	0.0
	40...70	14.4	16.5	0.7	0.3	0.0
	5...40	9.0	5.1	0.1	0.0	0.0
	1...5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Il 95% dei punti di misura aggregati ha un numero di buchi minore o uguale a quello indicato in tabella (95° Percentile) - EN50160						
		Durata buchi				
		20-200 ms	200-500 ms	500-1000 ms	1-5 s	5-60 s
T. residua [%]	80...90	91	38	3	1	0
	70...80	33	68	1	0	0
	40...70	32	38	2	1	0
	5...40	25	11	0	0	0
	1...5	0	0	0	0	0

# Contratti per la qualità

In Italia l'AEEG ha introdotto con la delibera n. 4/04 i **contratti per la qualità**.

**Nella deliberazione AEEGSI n. 646/2015/R/EEL, Testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica, per il periodo di Regolazione 2016-2023 + TIQE, vengono definiti come:**

**Le imprese distributrici possono stipulare contratti per la qualità con gli utenti, anche tramite il venditore, e le imprese distributrici interconnesse, nel rispetto dei criteri fissati dall'Autorità.**

Nei contratti per la qualità le parti definiscono il **livello di qualità** concordata che l'impresa distributtrice si impegna a rispettare, il **corrispettivo da versare da parte dell'utente** e **clausole penali in caso di inadempimento** dell'impresa distributtrice, indicando i casi di esclusione.

**Pochi contratti per la qualità ? Perché**



## Costo dovuto alle microinterruzioni per i clienti industriali

Nel **DCO 42/10 dell'AEEG** è riportato uno studio del Polimi che ha quantificato il **costo dovuto alle microinterruzioni (interruzioni transitorie e buchi di tensione)** per i clienti industriali come segue:

- settori osservati: la mediana dei costi diretti totali annui è stata stimata a **267,8 M€/anno** (minimo: 252,1 M€/anno, massimo: 296,3 M€/anno);
- settori potenzialmente sensibili ma non osservati: i costi diretti totali annui sono stati stimati a **315,6 M€/anno**;
- i costi indiretti totali annui per microinterruzioni per il sistema economico italiano sono stati stimati a **196,8 M€/anno**.

La stima dei **costi totali** annui sostenuti dai clienti industriali per le microinterruzioni porta a valori in un intervallo compreso tra un valore minimo pari a **449 M€/anno** (con l'ipotesi estrema che i settori potenzialmente sensibili non osservati abbiano costi nulli) e un valore massimo pari a **809 M€/anno**. Tutti i valori riportati sono riferiti a moneta dell'anno 2006.

**Costi delle microinterruzioni per diversi settori industriali: costo diretto per evento per kW (espresso in euro dell'anno 2006).**

Fonte: DIG del Politecnico di Milano

Settore	Media	Mediana	Intervallo
DM – auto e automotive	2,9	2,9	0,7 – 5,0
DH – plastica	2,2	1,8	0,1 – 4,2
DB – tessile	3,2	3,2	3,2
DE – carta	1,0 (1,1)	0,9 (0,9)	0,1 – 2,2
DF – raffinerie	13,3	13,3	13,3
DJ – metallurgia	3,3 (4,9)	1,1 (4,9)	0 (1,1) – 8,7
DI – minerali non metalliferi	0,9	0,8	0,1 – 2,3
DA – alimentare	5,9	0,6	0,2 – 30
DG – chimica	0,5 (0,7)	0,6 (0,7)	0 (0,6) – 0,8
DL – macchine elettriche	10,6	9,3	0,1 – 22,4
Tutti i settori	2,8 (3,4)	0,9 (1,2)	0 (0,1) - 30

## Stima dei costi annui diretti causati ad utenti sensibili "WSC 95%" dai buchi di tensione e dalle interruzioni transitorie

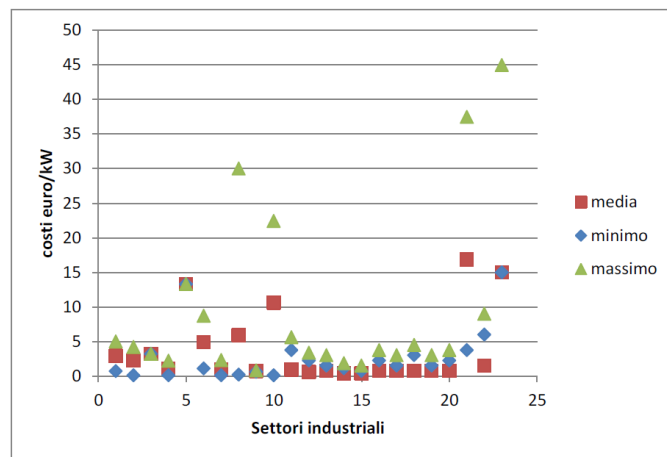
I costi causati dalle microinterruzioni agli utenti in MT:

- **Costo annuo diretto:** costo medio **63,7 €/kW**, valore mediano 11,0 €/kW.
- **Costo associabile al singolo evento** per kW: costo medio **2,9 €/kW**, valore mediano 0,8 €/kW.

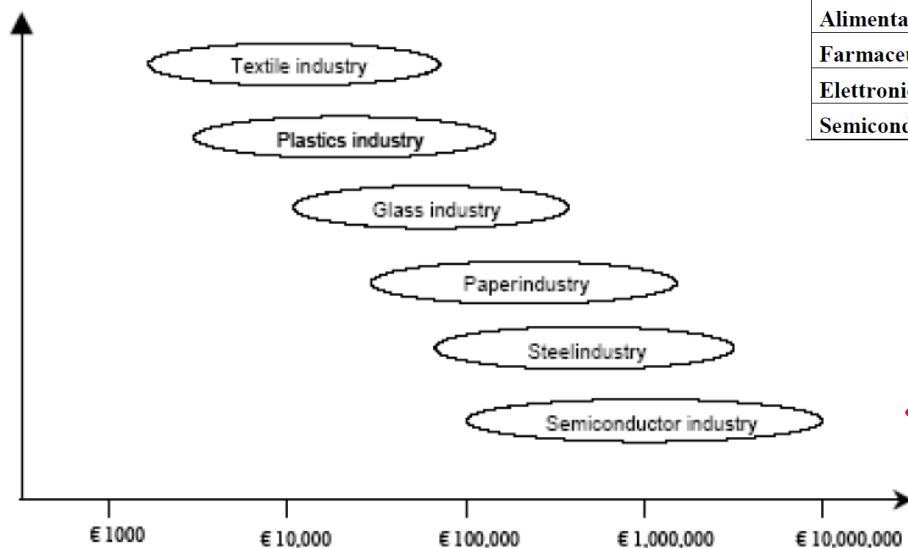
Senza utenti insensibili alle microinterruzioni:

- **Costo annuo diretto** per kW: costo medio **77,0 €/kW**, valore mediano 22,0 €/kW.
- **Costo associabile al singolo evento** per kW: costo medio **3,4 €/kW**, valore mediano 1,1 €/kW.

	Settori industriali
Auto e automotive	1
Plastica	2
Tessile	3
Carta	4
Raffinerie	5
Metallurgia	6
Minerali non metalliferi	7
Alimentare	8
Chimica	9
Macchine elettriche	10
Auto e automotive	11
Plastica	12
Tessile	13
Carta	14
Stampa	15
Raffinerie	16
Metallurgia	17
Vetro	18
Miniera	19
Alimentare	20
Farmaceutico	21
Elettronica	22
Semiconduttori	23



Different types of industries



Visualizzazione dei costi delle microinterruzioni per settori industriali, in €/kW per evento. Fonte: RSE

Costi (€) causati dai buchi di tensione, per diversi settori industriali. Fonte: CIGRE C4.107

# Analisi dei costi diretti dei dispositivi per la mitigazione dei disturbi

Il numero annuo atteso di interruzioni al di sotto della curva di classe 3:

- 15÷20 per gli utenti con un'alimentazione di qualità "media";
- almeno 70 nel caso di WSC 95%.

Questi dati si traducono in costi diretti causati dagli eventi di PQ ed una stima dei costi tipici delle interruzioni è riportata nella tabella:

Category	Cost of Momentary Interruption (\$/kW demand)	
	Minimum	Maximum
<b>INDUSTRIAL</b>		
Automobile manufacturing	\$5.0	\$7.5
Rubber and plastics	\$3.0	\$4.5
Textile	\$2.0	\$4.0
Paper	\$1.5	\$2.5
Printing (newspapers)	\$1.0	\$2.0
Petrochemical	\$3.0	\$5.0
Metal fabrication	\$2.0	\$4.0
Glass	\$4.0	\$6.0
Mining	\$2.0	\$4.0
Food processing	\$3.0	\$5.0
Pharmaceutical	\$5.0	\$50.0
Electronics	\$8.0	\$12.0
Semiconductor manufacturing	\$20.0	\$60.0
<b>COMMERCIAL</b>		
Communications, information processing	\$1.0	\$10.0
Hospitals, banks, civil services	\$2.0	\$3.0
Restaurants, bars, hotels	\$0.5	\$1.0
Commercial shops	\$0.1	\$0.5

Costi tipici delle interruzioni transitorie per settori industriali (in \$/kW). Fonte: EPRI, 2005

## Approcci per la mitigazione dei disturbi

Adottabili due approcci relativi all'installazione di dispositivi mitigatori:

Lato DSO, a monte

Lato Utente

Per quanto riguarda i **dispositivi mitigatori a monte**, un modello interessante è il *Premium Power Park (Custom Power)*. Tale modello si è sviluppato per la rapida evoluzione dell'elettronica di potenza e dello sviluppo di dispositivi "Custom Power" utilizzabili nel campo delle medie tensioni: DVR, DSTATCOM, STS.

L'idea del **PPP** è stata sostenuta negli anni '90 da EPRI – Electric Power Research Institute, California.



PPP del Delaware Industrial Park: Intellivar Installation – One Phase per Platform. Fonte RSE



# Approcci per la mitigazione dei disturbi – Dispositivi mitigatori

## Categorie di dispositivi mitigatori

### **DVR – Dynamic Voltage Restorer**

Dispositivi con accumulo di energia – condensatori.

Utilizzo: mitigazione dei bdt/interruzioni transitorie. Applicazioni in MT e BT.

### **SVB – Static Voltage Booster**

Dispositivi senza accumulo di energia.

Utilizzo: mitigazione dei buchi di tensione; potenza limitata. Applicazioni in BT.

### **UPS statici (carico alimentato da inverter)**

Dispositivi con accumulo di energia elettrochimica – batterie.

Utilizzo: mitigazione di buchi di tensione + interruzioni brevi. Applicazioni in BT.

### **UPS rotanti (carico alimentato da macchina elettrica rotante)**

Dispositivi con accumulo di energia: cinetica (volano) o elettrochimica (batteria)

Utilizzo: mitigazione di buchi di tensione + interruzioni brevi. Applicazioni MT e BT.

### **Interruttori di trasferimento - Doppia alimentazione (ridondanza di rete)**

Limite: reale indipendenza delle sorgenti. Applicazioni MT e BT.

### **Sistemi a continuità totale:**

Un UPS statico o rotante fornisce autonomia sufficiente per proteggere il carico da quasi tutti i disturbi. Un gruppo elettrogeno può coprire il rimanente (interruzioni di durata superiore all'autonomia dell'UPS). Soluzioni tipiche: UPS statico + gruppo elettrogeno; oppure UPS rotante + gruppo elettrogeno.

# Ripartizione delle apparecchiature per "funzione"

- Riduzione dell'impatto in rete di carichi disturbanti, regolazione della tensione su lunghe linee, peak-shaving ed interfaccia per generazione distribuita:

✓ D-STATCOM (Distribution Statcom).

- Mitigazione degli effetti dei disturbi di rete su carichi sensibili:

✓ DVR (Dynamic Voltage Restorer);

✓ S-DVR (Step Dynamic Voltage Restorer)

✓ SVR (Static Voltage Restorer);

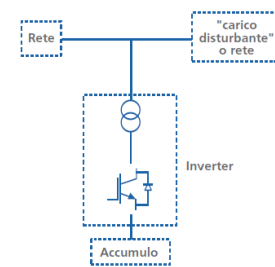
✓ SCB e STS (Static Circuit Breaker e Static Transfer Switch);

✓ UPFC (Unified Power Flow Controller);

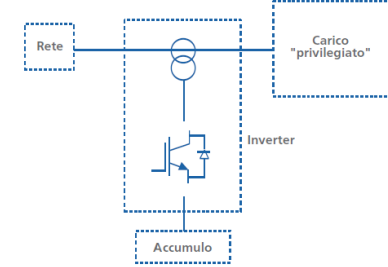
✓ D-STATCOM + Static Circuit Breaker;

✓ Dispositivo derivato con reattanza serie di disaccoppiamento.

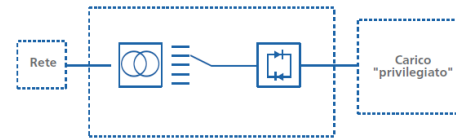
## Sistemi di Distribuzione in cc ?



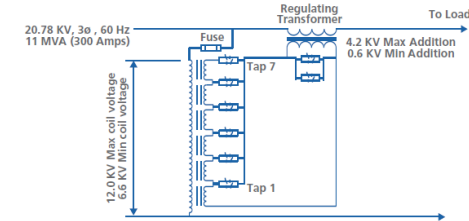
D-STATCOM (Distribution Statcom)



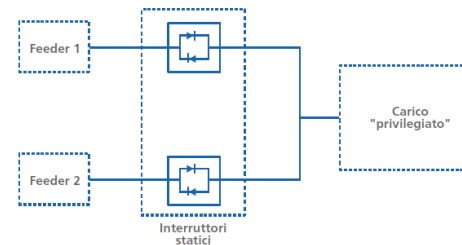
DVR (Dynamic Voltage Restorer)



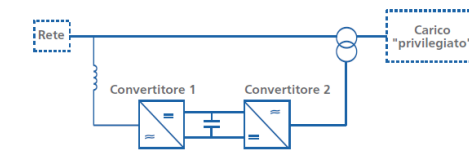
S-DVR (Step Dynamic Voltage Restorer)



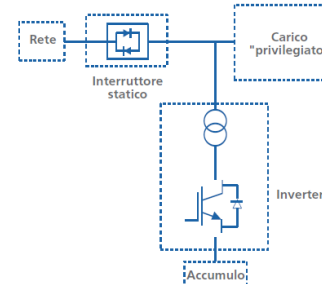
SVR (Static Voltage Restorer)



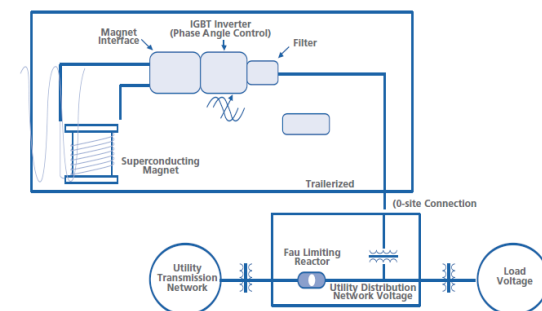
STS (Static Transfer Switch)



UPFC (Unified Power Flow Controller)



D-STATCOM + Static Circuit Breaker



Dispositivo derivato con reattanza serie di disaccoppiamento

# Funzioni realizzabili dai diversi dispositivi Custom Power

	Buchi di tensione	Interruzioni	Regolaz. P (peak Shaving)	Regolaz. Q e cosφ	Compens. Armoniche I-Carico (fil attivo)	Compens. Armoniche V-Rete (fil attivo)	Compens. Flicker	Livello Tensione	Range potenze	Schema inserzione	Accumulo di energia
D-STATCOM	No	No	Si (se dotato di accumulo adeguato)	Si	1)	No	Si	MT e BT (anche AT)	Fino a decine di MVA	Tipo parallelo	Basso
DVR	Si	No	No	No	No	1)	No	MT e BT	Fino ad una decina di MVA	Tipo serie	Medio basso
S-DVR	Si	No	No	No	No	No	No	MT ed AT	Fino a decine di MVA	Tipo serie	-----
SVR	Si	No	No	No	No	No	No	MT	Fino a decine di MVA	Misto serie parallelo	-----
UPFC	Si	No	No	Si	1)	1)	Si	MT e BT	Fino a pochi MVA	Misto serie parallelo	Basso
D-STATCOM + STATIC SWITCH	Si	Si	Si (se dotato di accumulo adeguato)	Si	1)	No	Si	MT e BT	Fino ad una decina di MVA	Misto serie parallelo	Medio – alto
STATIC TRANSFER SWITCH (2)	Si	Si	No	No	No	No	No	MT e BT	Per reti MT/bt	Tipo serie	-----
Dispositivi derivato con reattanza disaccoppiamento	Si	No	Si (se dotato di accumulo adeguato)	Si	1)	No	Si	MT e BT	Fino ad una decina di MVA	Misto serie parallelo	Medio – alto

(1) Possibile per potenze non troppo elevate, che consentono l'utilizzo di componenti elettronici con frequenze di commutazione adeguate.

(2) Il dispositivo è applicabile ad installazioni con doppia alimentazione indipendente

## Example of initial costs and annual operating costs for some general technologies used to improve performance for voltage sags and interruptions

Category of Power Conditioning Equipment	Typical Cost	Operation and Maintenance Costs (% of initial costs per year)
<b>Controls protection (&lt;5kVA)</b>		
CVTs	\$1,000/kVA	10%
UPS	\$500/kVA	25%
Active series compensator	\$250/kVA	5%
<b>Machine protection (10 to 300kVA)</b>		
UPS	\$500/kVA	15%
Flywheel-based standby UPS	\$500/kVA	7%
Active series compensator	\$200/kVA	5%
<b>Facility protection (2 to 10MVA)</b>		
UPS	\$500/kVA	15%
Flywheel-based standby UPS	\$500/kVA	5%
Dynamic voltage restorer (DVR) — 50% voltage boost	\$300/kVA	5%

Source: "The Economics of Voltage Sag Ride-Through Capabilities", EPRI Solutions

# Premium Power Park del Delaware Industrial Park

Il Delaware Industrial Park in Ohio (USA) PPP 1999.

AEP+Siemens+ EPRI

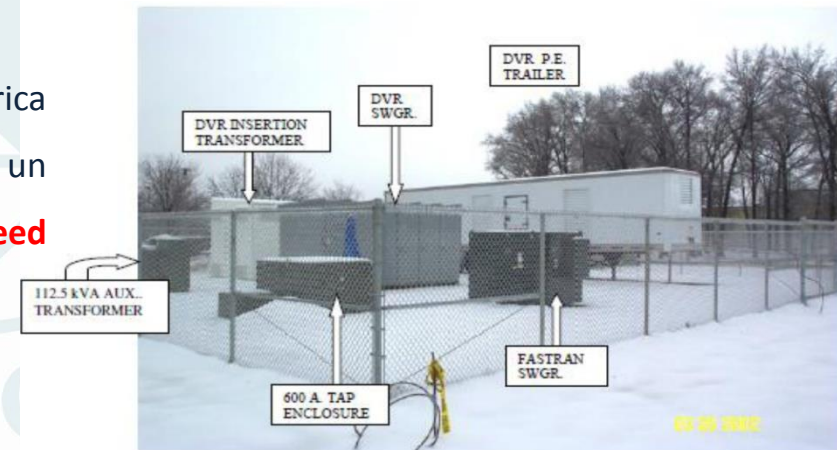
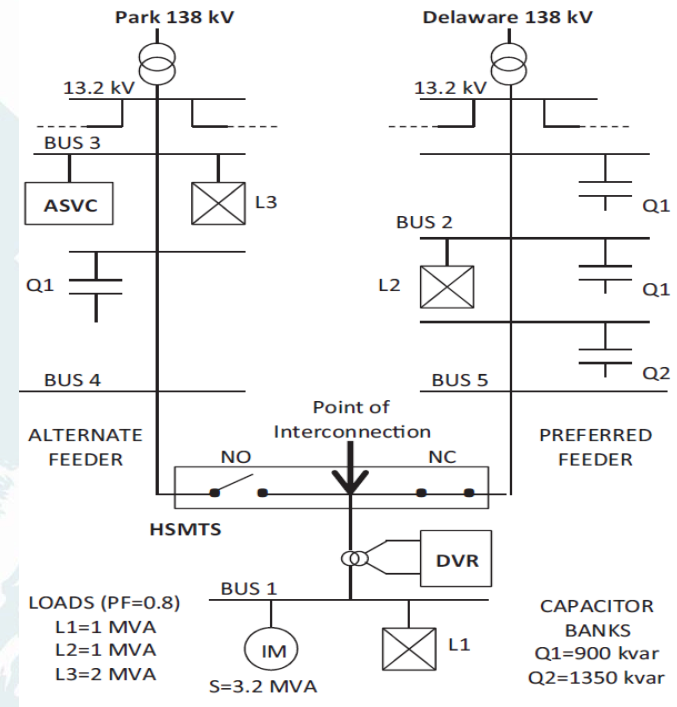
Alimenta **una decina di clienti industriali**, caratterizzati da diverse attività e necessità relativamente alla qualità della tensione di alimentazione.

Nell'area sono **differenziati diversi livelli di qualità del servizio elettrico**, ottenuti mediante **dispositivi Custom Power**, attraverso un'alimentazione su più sbarre.

L'area è alimentata da due sottostazioni a 138kV mediante trasformatori 138/13.2kV.

I dispositivi usati per elevare la qualità dell'alimentazione elettrica sono un **DVR**, un Advanced Static VAR Compensator (**ASVC**) e un interruttore elettromeccanico ad alta velocità (**High-Speed Mechanical Transfer Switch -HSMTS**).

Diagramma unifilare del Delaware PPP.



ES 05 2002

# Premium Power Park del Delaware Industrial Park

Il PPP del Delaware è stato realizzato all'interno di un parco industriale mediante l'installazione di 3 dispositivi *Custom Power*:

- ✓ un **Dynamic Voltage Restorer (DVR)** da 2 MVA, 13,2 kV, con una capacità massima di compensazione della tensione pari al 40% della tensione nominale per 0,2 s e condensatori per l'accumulo dell'energia elettrica;
- ✓ un interruttore di trasferimento meccanico ad alta velocità a 13,2 kV (*High-Speed Mechanical Transfer Switch - HSMTS*), caratterizzato da un tempo di trasferimento  $\leq 1.5$  cicli (circa 25 ms a 60 Hz e 30 ms a 50 Hz);
- ✓ un compensatore di potenza reattiva **TSC-TCR (Advanced Static VAR Compensator – ASVC)**, da 1,5 MVAR per fase.

Alimentato da due **feeder di MT alla tensione di 13,2 kV**, derivati da due separate cabine di trasformazione 138 kV/13,2 kV.

Tensione residua	Durata				
	20 - 200[ms]	200 - 500[ms]	0.5 - 1[s]	1 - 5[s]	5 - 60[s]
80 - 90 [%]	249	87	21	8	0
70 - 80 [%]	126	62	5	2	0
62 - 70 [%]	70	26	2	0	0
40 - 62 [%]	106	38	3	1	0
5 - 40 [%]	73	24	3	1	0
0 - 5 [%]	1	0	0	0	0

Buchi di tensione (MT) registrati nel periodo 4 gennaio 2010 – 30 dicembre 2012: 95% percentile. Fonte: RSE

Componenti	Stima costi di investimento
<b>DVR + interruttore elettromeccanico di trasferimento</b>	1100 k€
<b>DVR + interruttore statico di trasferimento</b>	1150 ÷ 1200 k€

Costi di investimento del PPP del Delaware per un **carico da 4 MVA**

# Premium Power Park

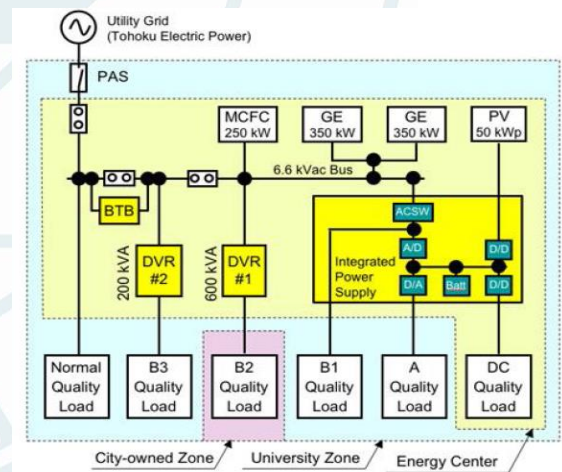
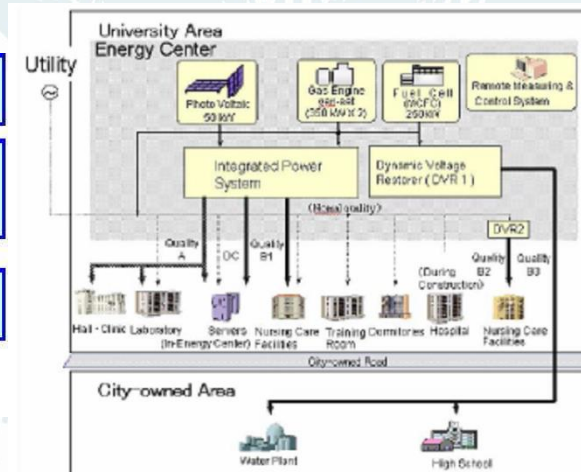
## Sendai (Giappone)

Presso l'università di Tohoku Fukushi, Sendai, in Giappone, **dal 2004**, si è sviluppato un progetto di ricerca finalizzato alla realizzazione di un sistema di distribuzione dell'energia elettrica differenziato su **cinque diversi livelli di qualità** superiori a quello "normale".

Il progetto integra l'alimentazione tradizionale dalla rete con la **generazione distribuita**, ovvero le fonti energetiche rinnovabili, **distribuzione BT in corrente continua**, e fa inoltre uso di **due DVR** e di un **interruttore statico**, oltre a diversi convertitori di potenza.

Inoltre un sistema di **monitoraggio della power quality** è stato progettato ed è stato installato un generatore di buchi di tensione al fine di valutare il comportamento e la risposta coordinata dei vari dispositivi in presenza di disturbi creati artificialmente. Il PPP di Sendai copre un'area di circa 300.000 m<sup>2</sup> che abbraccia parte dell'università e una limitrofa zona cittadina.

Fonte:RSE



Vista dell'Energy Center del PPP di Sendai

Configurazione schematica del PPP di Sendai

Sistema di distribuzione differenziato su più livelli di qualità

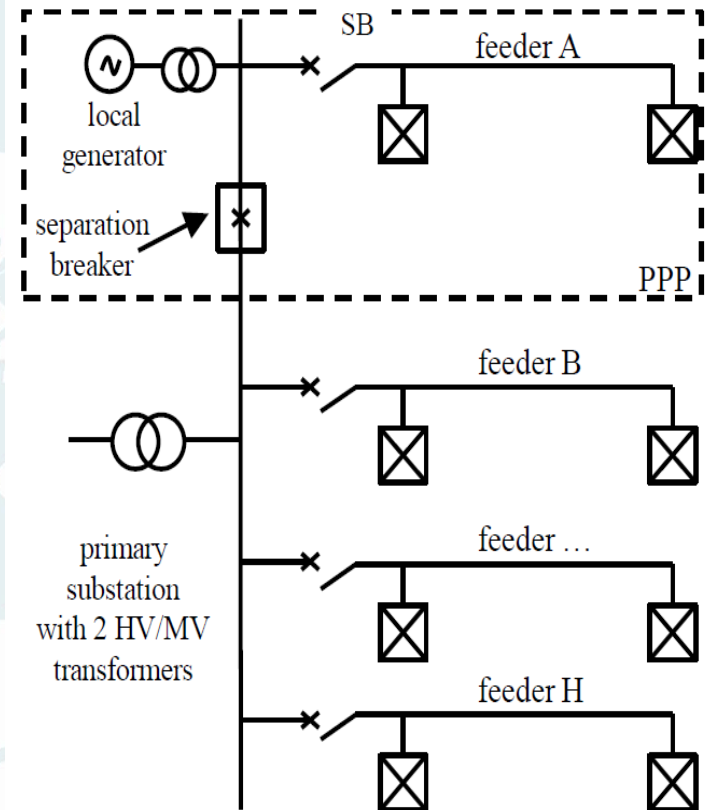
# La soluzione CERTS

La soluzione proposta dal **CERTS** (*Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, USA, 1999*) si basa sulla **generazione locale e sull'alimentazione in isola** degli utenti sensibili a seguito di un evento di *Power Quality* sulla rete principale.

La soluzione proposta dal CERTS si basa:

- Sulla **generazione locale e non fa uso di dispositivi Custom Power**, è chiaramente molto più semplice e tuttavia efficace.
- Generazione locale o **UPS rotante**.
- Un **interruttore statico** (SCB – Static Circuit Breaker) o tradizionale.
- **Quadro di controllo con dispositivi di parallelo.**

Schema unifilare di distribuzione in MT secondo la proposta del CERTS





**Studio di fattibilità tra Confindustria Brindisi  
e Politecnico Bari e Università del Salento su Area industriale di Brindisi  
(industria avionica, farmaceutica, materie plastiche,..)**

**OBIETTIVO**

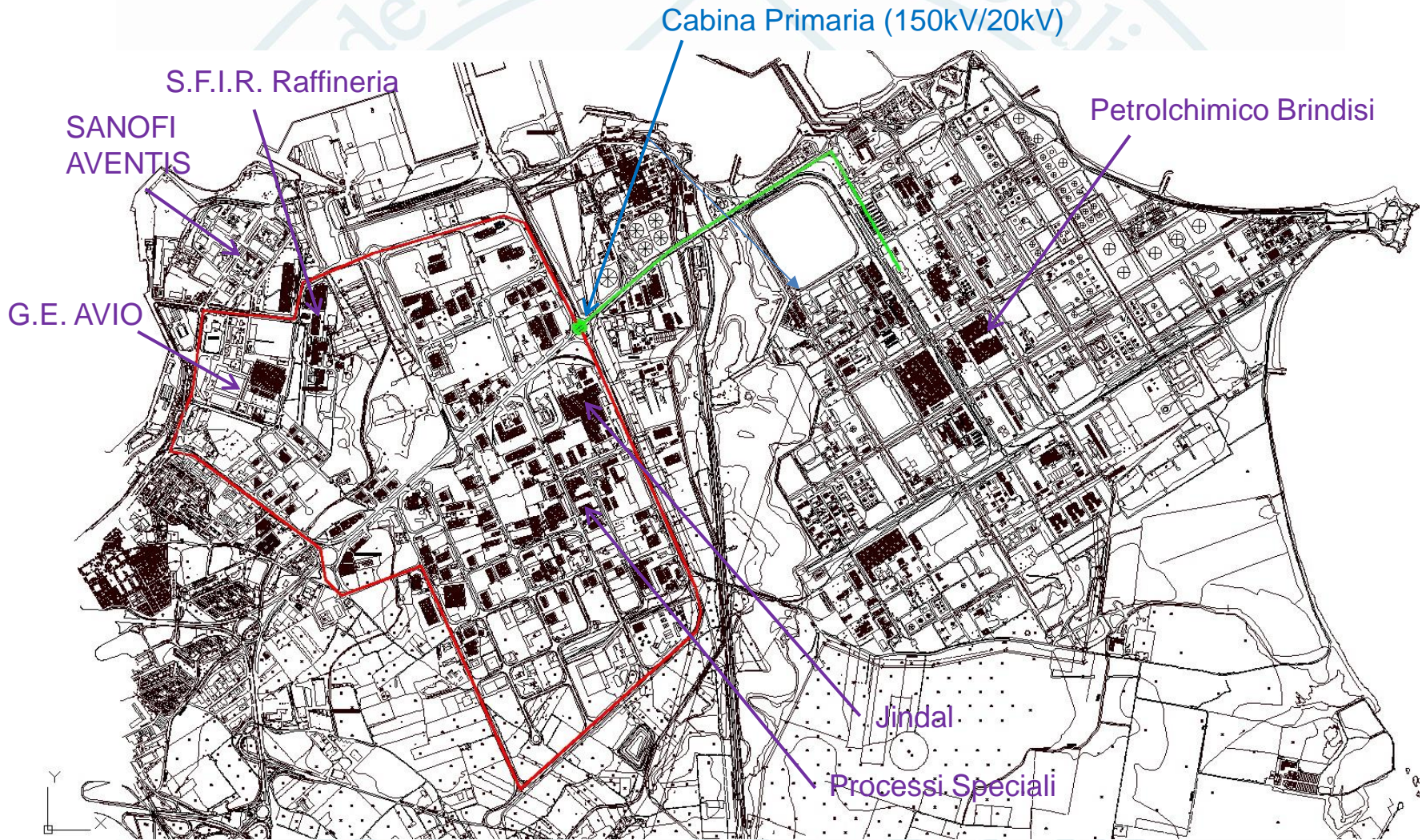


Verificare la possibilità di **scambio di energia e materia** all'interno del Distretto al fine di **migliorare l'efficienza** dell'insediamento produttivo.

Somministrato un questionario alle varie aziende dell'area ed individuate alcune esigenze:

- Condivisione di vapore e acqua demineralizzata;
- Verificare possibilità di realizzazione Sistema di Distribuzione Chiuso;
- Maggiore qualità del servizio su rete MT, **micro-interruzioni**, costi associati

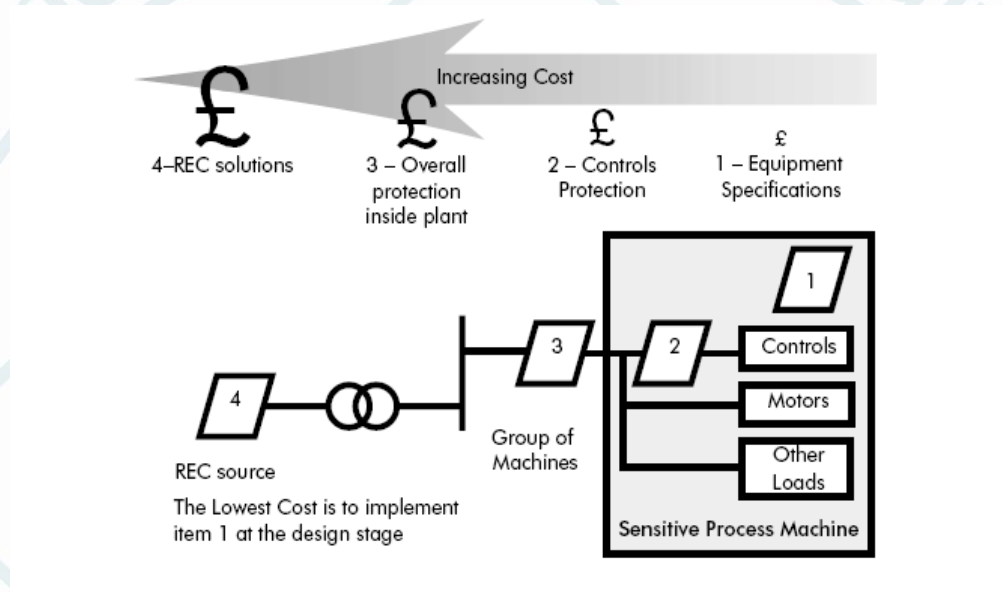
# Premium Power Park - Brindisi



- Linea in cavo 150 kV
- Linea di distribuzione in cavo 20 kV

# Premium Power Park Vs Contratti di qualità

Il **costo** della mitigazione aumenta con la potenza del carico protetto e con il livello di tensione:



I costi del Premium Power Park sono sostenuti dal DSO mentre gli utenti usufruiscono dei benefici.

- ***Come gestire questo problema?***
- ***I contratti per la qualità possono essere uno strumento idoneo?***

**Aprire ad iniziativa privata favorendo investimenti in questa direzione, agire anche sulla regolamentazione, Sistemi di Distribuzione Chiusi, etc.**

# Conclusioni

- In un contesto internazionale, l'evoluzione della norma EN 50160 richiede un adeguamento della normativa **coordinando** le norme costruttive degli apparecchi utilizzatori con le norme inerenti le reti di distribuzione e le norme relative agli impianti/sistemi utilizzatori.
- **La compensazione dei disturbi deve avvenire dove questi vengono generati.**
- **La campagna di monitoraggio** della qualità della tensione rappresenta un passo fondamentale per migliorare la qualità della fornitura di energia elettrica sia per individuare l'**origine** dei fenomeni e le **responsabilità** sia per stimolare **una valutazione accurata dei benefici derivanti da azioni di mitigazione.**