

# Principali caratteristiche tecniche dei cavi AT/MT

Prysmian Cavi e Sistemi Italia

Sergio Chinosi – HV System and Installation Design Manager, South Europe Region

Andrea Parolina – OGP Engineering, South Europe Region

Milano, 22 Febbraio 2017

**Prysmian**  
Group



Associazione Italiana  
Strumentisti



Italy  
Section

**LINKING ITALY TO THE FUTURE**  
DAL 1879...

 **PRYSMIAN**

 **Draka**



**Prysmian**  
Group

**Prysmian**  
Group

- 
- **Prysmian Group,**  
leader mondiale  
nell'industria dei cavi
  - **Prysmian in Italia**

# PRYSMIAN CAVI E SISTEMI ITALIA

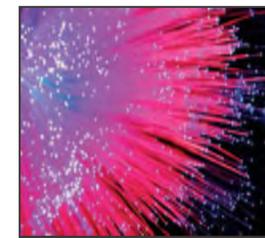
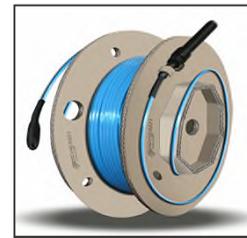
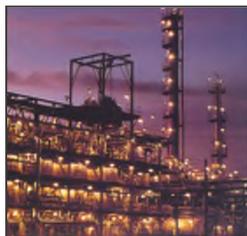


# PRYSMIAN CAVI E SISTEMI ITALIA: L'OFFERTA

---

Negli stabilimenti italiani Prysmian produce:

- Cavi di alta tensione
- Cavi di media tensione, in alluminio e rame
- Cavi di bassa tensione, in alluminio e rame
- Cavi speciali per applicazioni:
  - ✓ Marina
  - ✓ Ferroviario
  - ✓ Rinnovabili
  - ✓ Carroponte
  - ✓ Piattaforme petrolifere offshore e onshore
- Fibra ottica
- Accessori di alta e media tensione



# ALTA TENSIONE

---

## ○ Progettazione di sistemi in cavo AT

- Diagramma di flusso della progettazione
- Criterio di scelta costruttiva
- Progetto termico
- Progetto elettrico
- Metodi di connessione degli schermi metallici

## ○ Progetto magnetico (schermature)

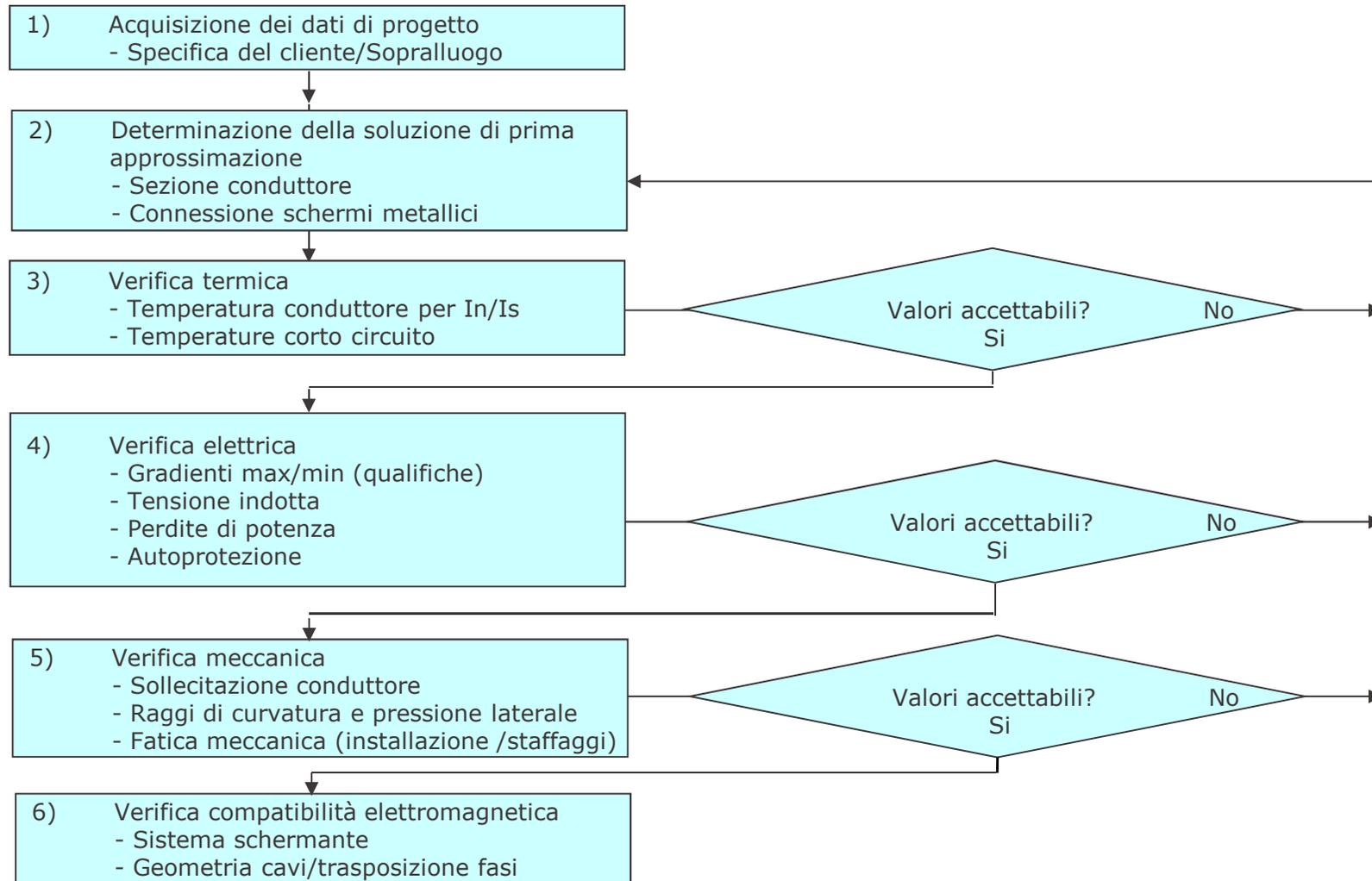
- Considerazioni e tecniche per la mitigazione dei campi magnetici

# AGENDA

- Prove
  - Prove in fabbrica
  - Prove dopo l'installazione
- Monitoraggio e Diagnostica
  - Panoramica dei servizi offerti

# PROGETTAZIONE DEI SISTEMI IN CAVO AT

## DIAGRAMMA DI FLUSSO DELLA PROGETTAZIONE



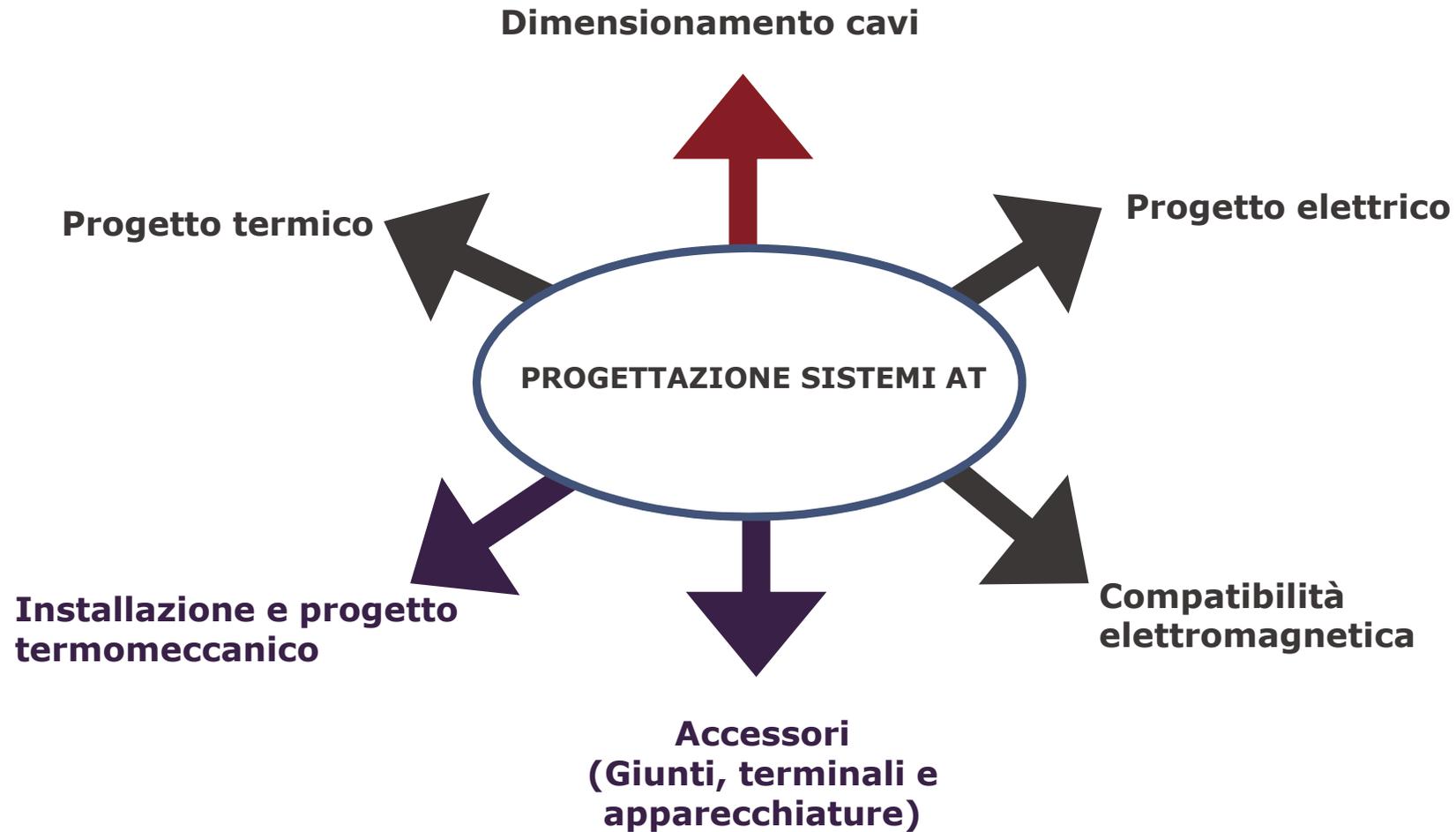
# PROGETTAZIONE DEI SISTEMI IN CAVO AT

---



# PROGETTAZIONE DEI SISTEMI IN CAVO AT

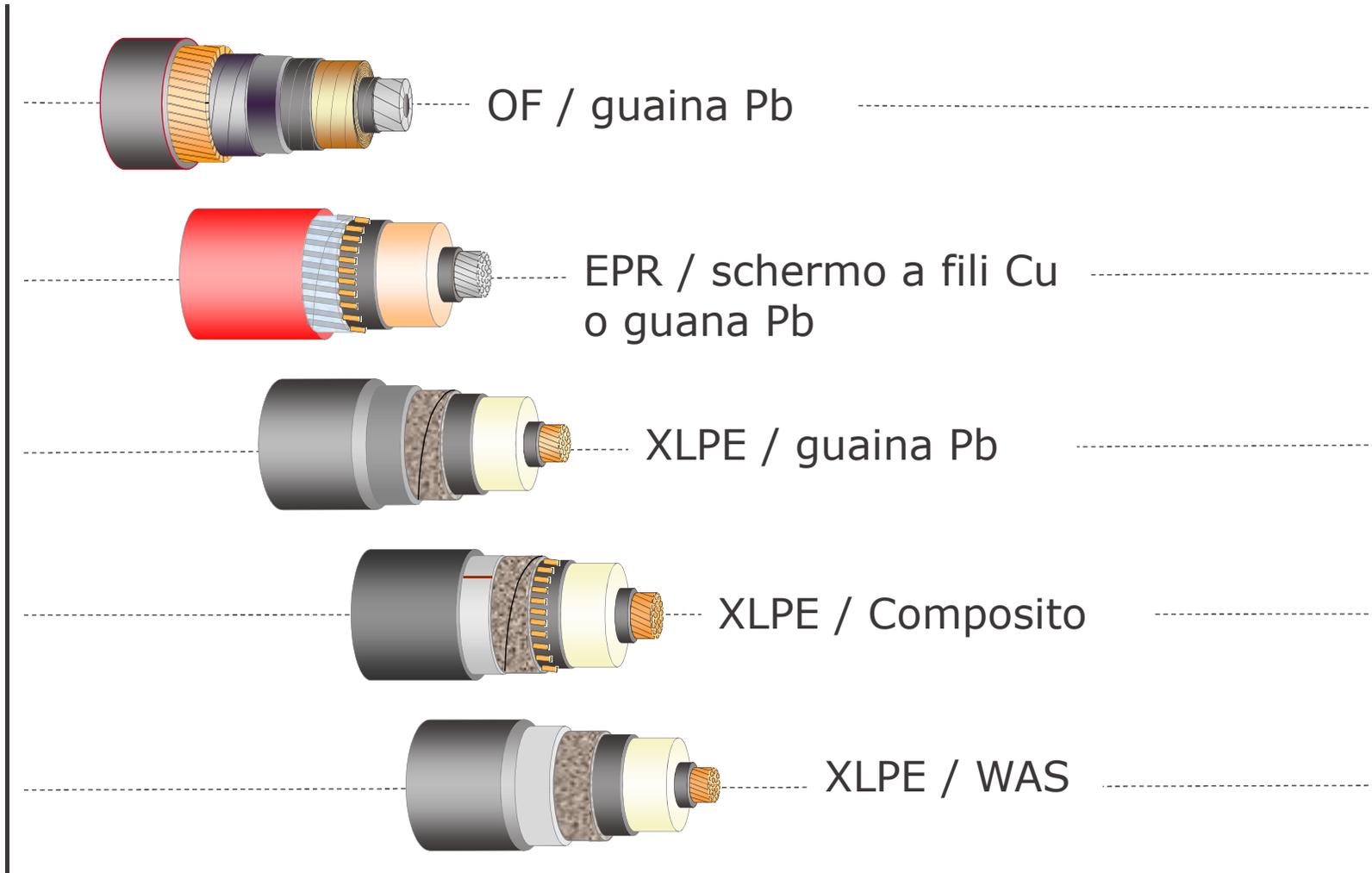
---



# CRITERIO DI SCELTA COSTRUTTIVA

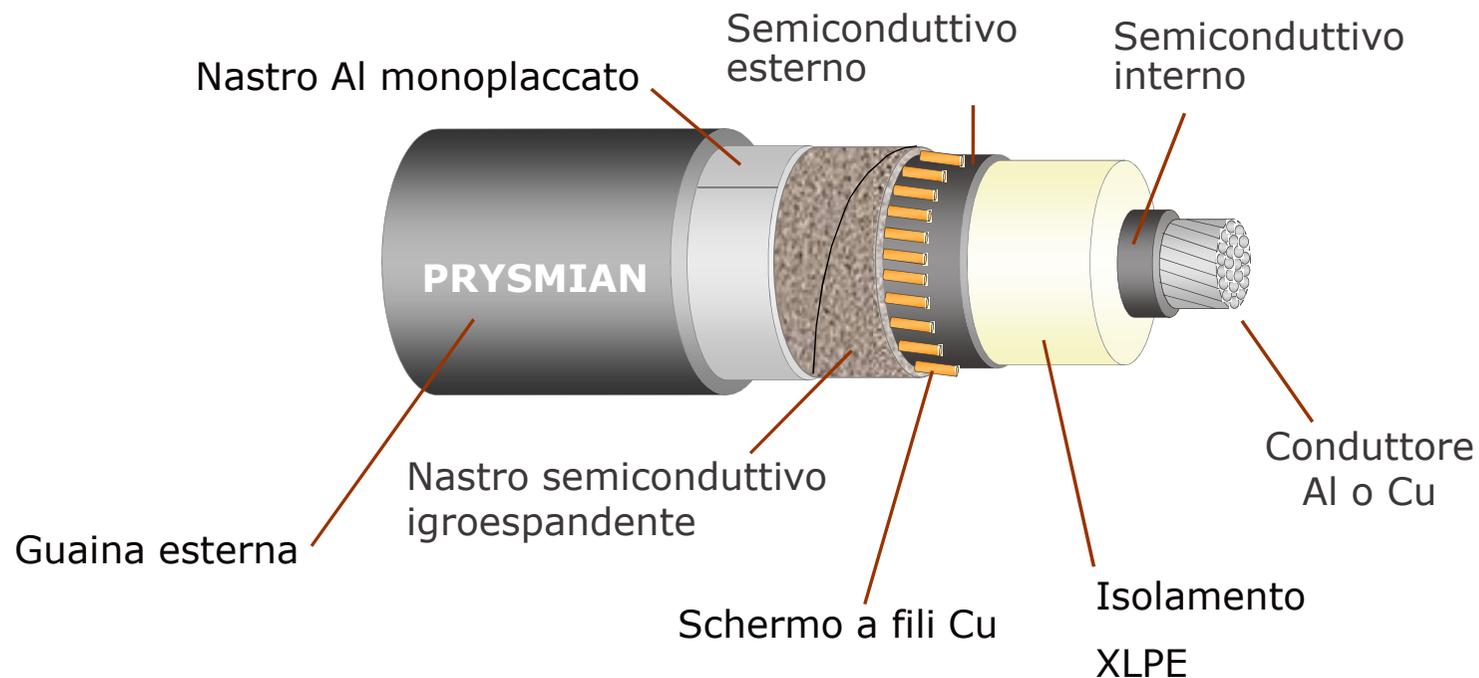
## Evoluzione costruttiva dei cavi AT

132-150 kV



## CRITERIO DI SCELTA COSTRUTTIVA

---

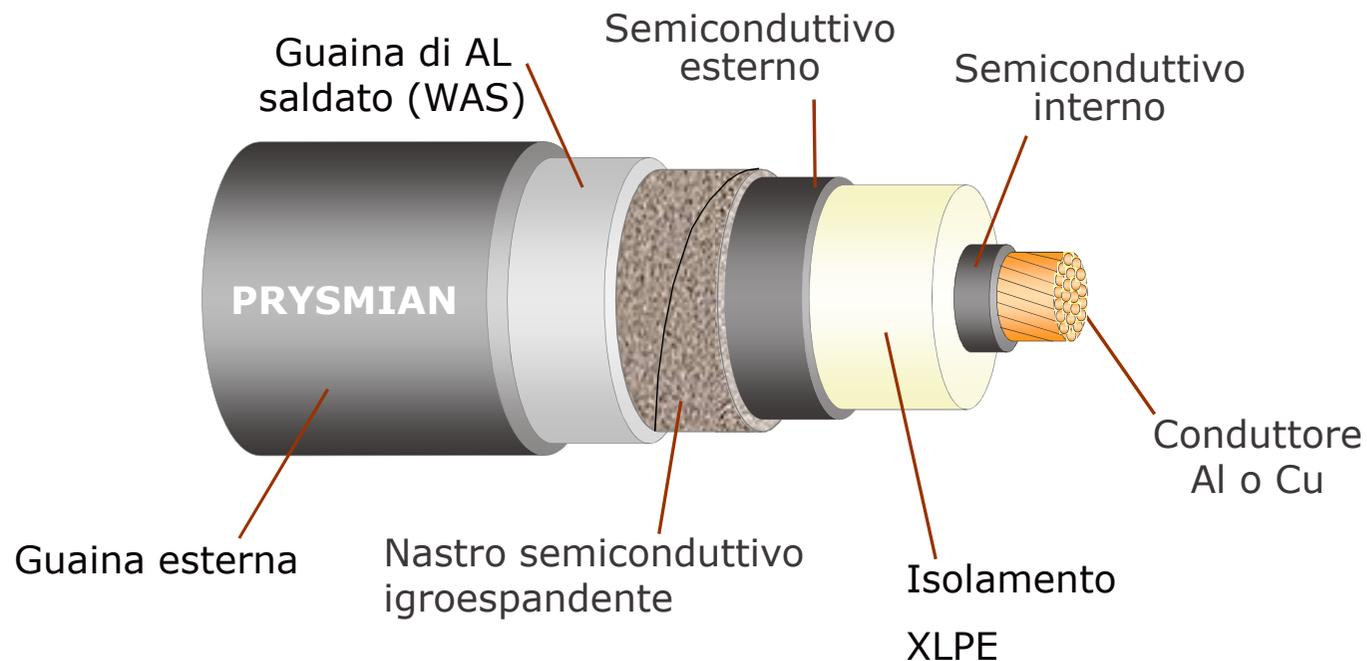


### Caratteristiche

- Largamente impiegato per sistemi fino a 150 kV
- Buona resistenza radiale alla penetrazione di umidità

## CRITERIO DI SCELTA COSTRUTTIVA

---

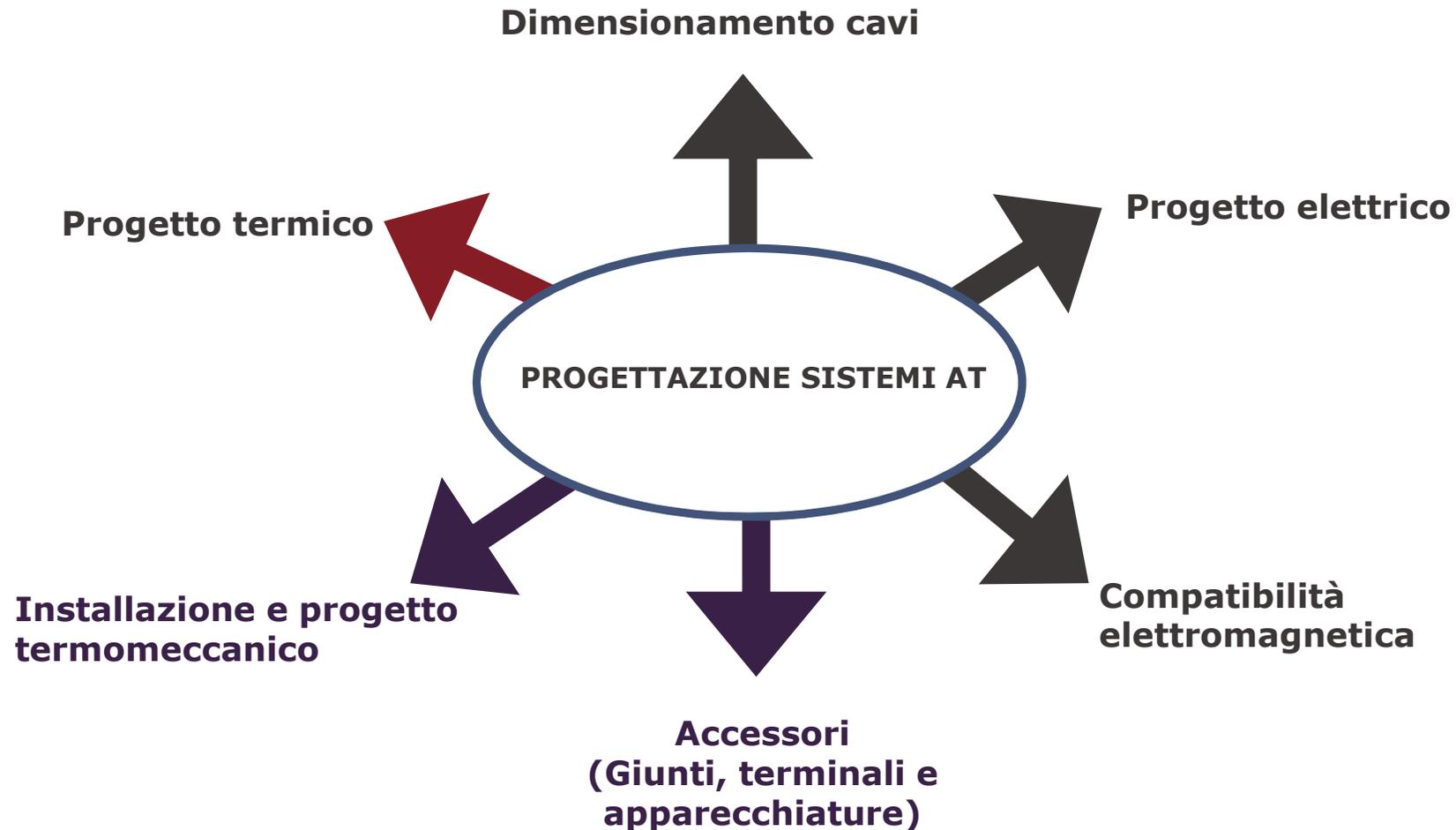


### Caratteristiche

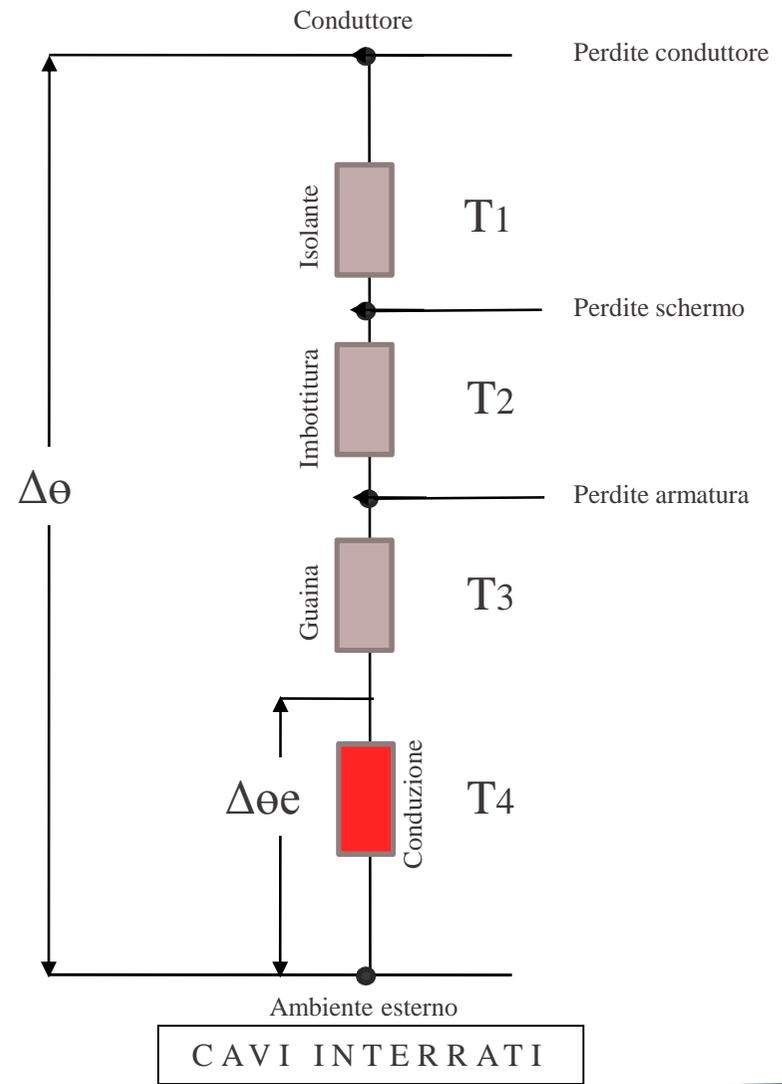
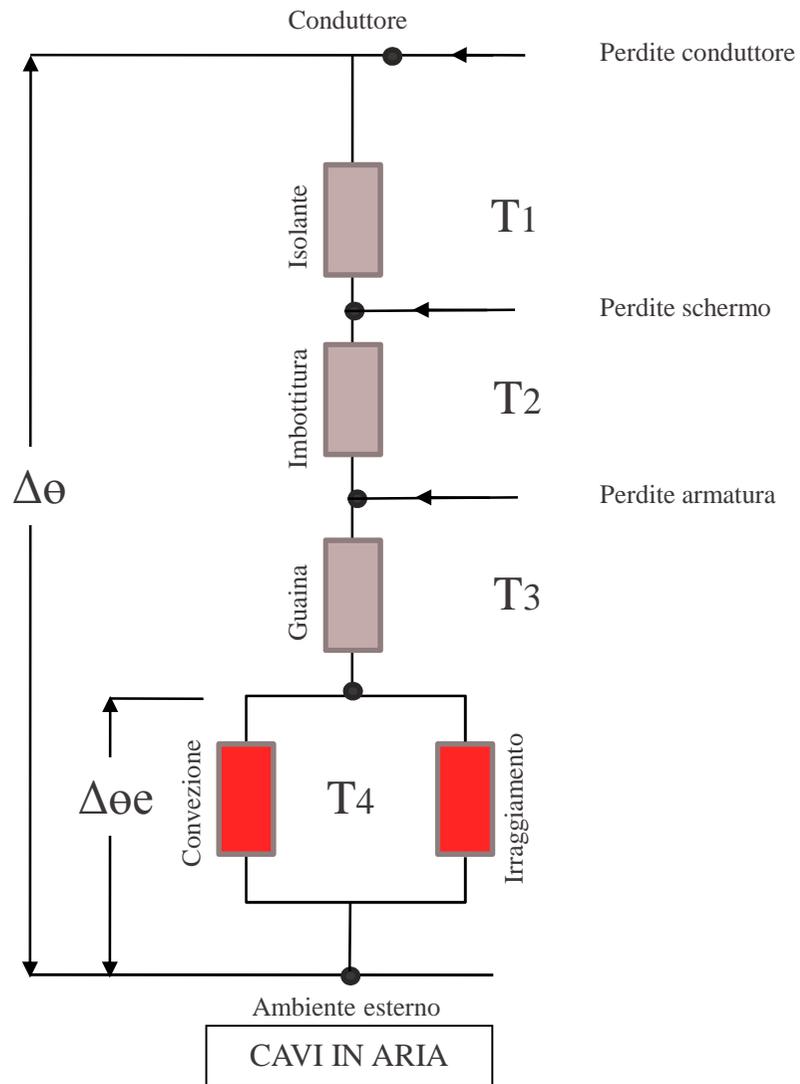
- Utilizzato per tutti i sistemi fino a 500 kV
- Riduzione nelle dimensioni esterne e nel peso
- Maggior robustezza meccanica e resistenza all'impatto
- Eccellenti caratteristiche di impermeabilità e resistenza agli oli

# PROGETTAZIONE DEI SISTEMI IN CAVO AT

---



## Legge di Ohm termica ( $\Delta\theta = R_t \times P$ )



## CORTO CIRCUITO



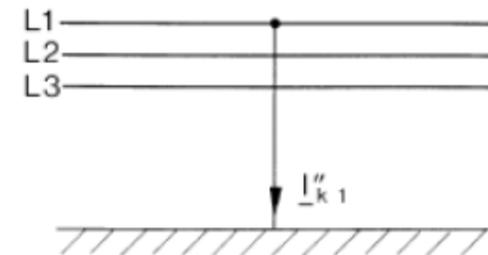
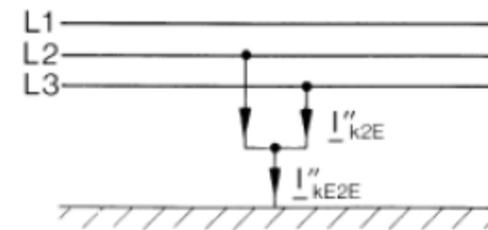
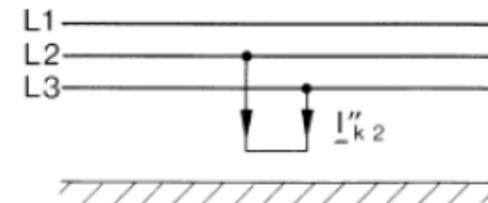
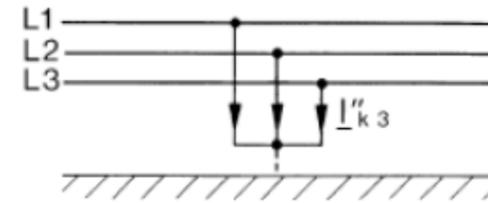
# PROGETTO TERMICO

## Correnti di corto circuito

- Corto circuito simmetrico trifase
- Corto circuito bifase/Guaso bifase a terra
- Guasto monofase a terra

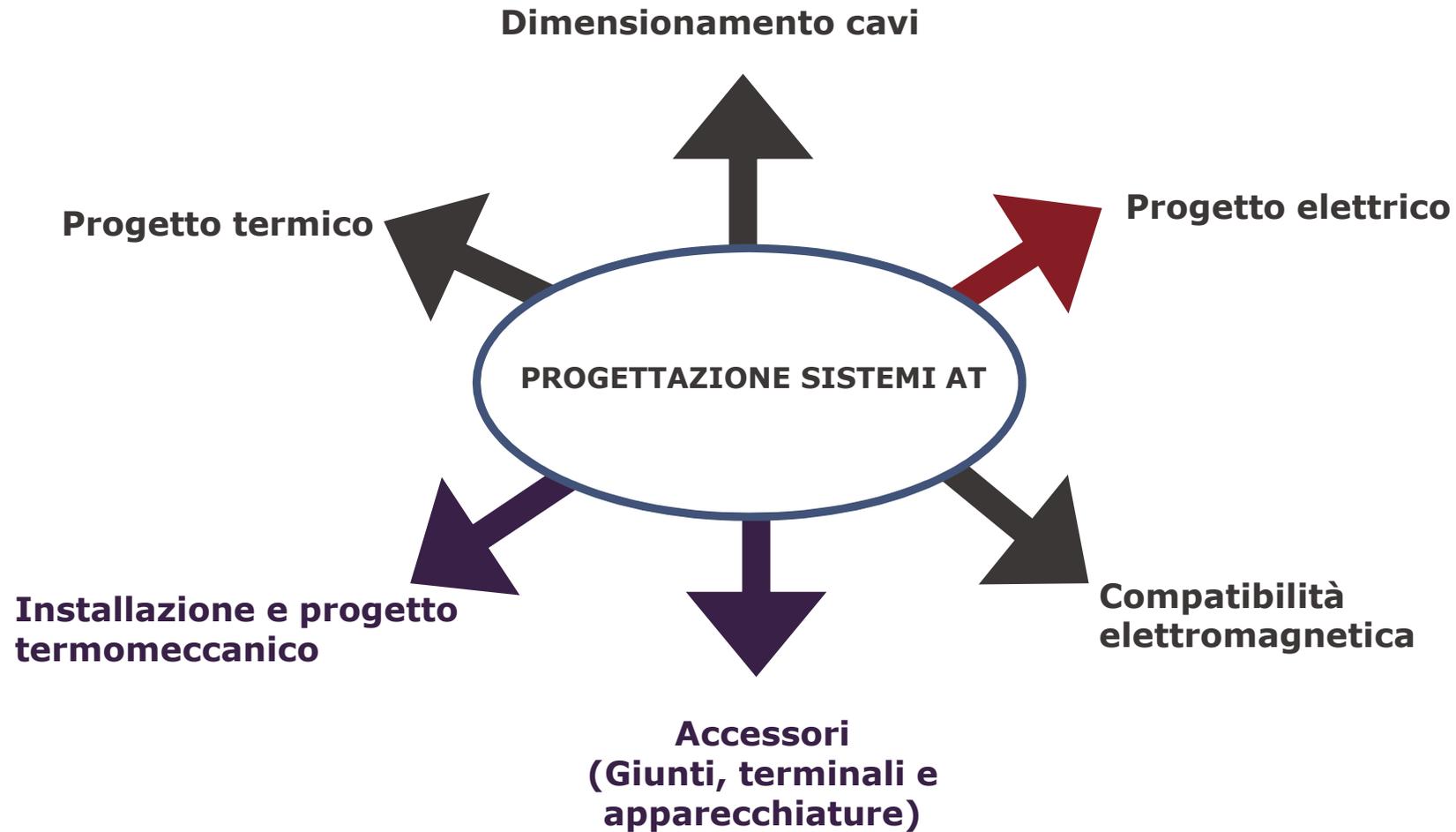
## Effetti del corto circuito

- Sovratemperatura conduttore e guaine metalliche
- Tensioni indotte su linee parallele
- Innalzamento del potenziale di terra



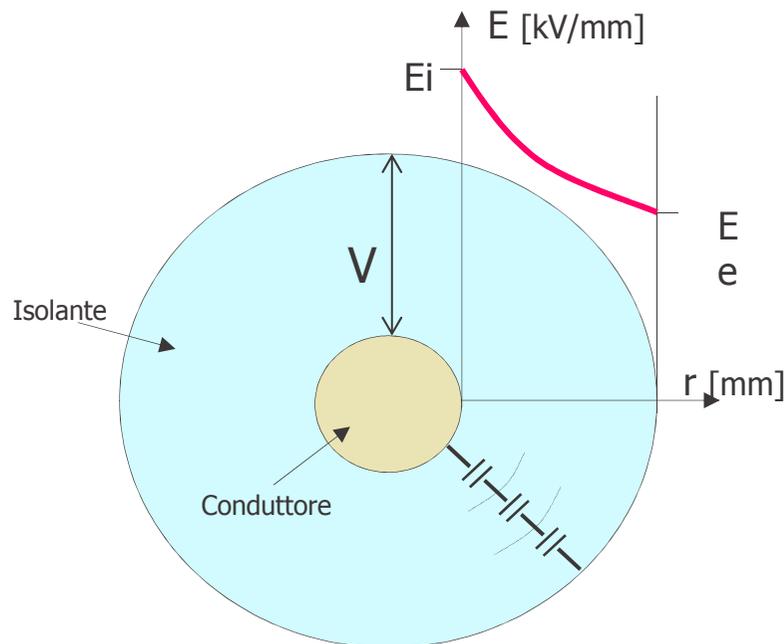
# PROGETTAZIONE DEI SISTEMI IN CAVO AT

---



## Gradiente elettrico

Per sistemi in C.A. E in generale per tutti i sistemi caratterizzati da rapide inversioni di tensione, il gradiente elettrico dell'isolante è caratterizzato da una distribuzione capacitiva. L'isolante può essere considerato come suddiviso in capacità concentriche in serie.



$$E(r) = \frac{V}{r \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}$$

dove:

$$E_i > E_e$$

Valori tipici di gradiente elettrico:

$E_i = 6$  to  $14$  kV/mm (HV to EHV)

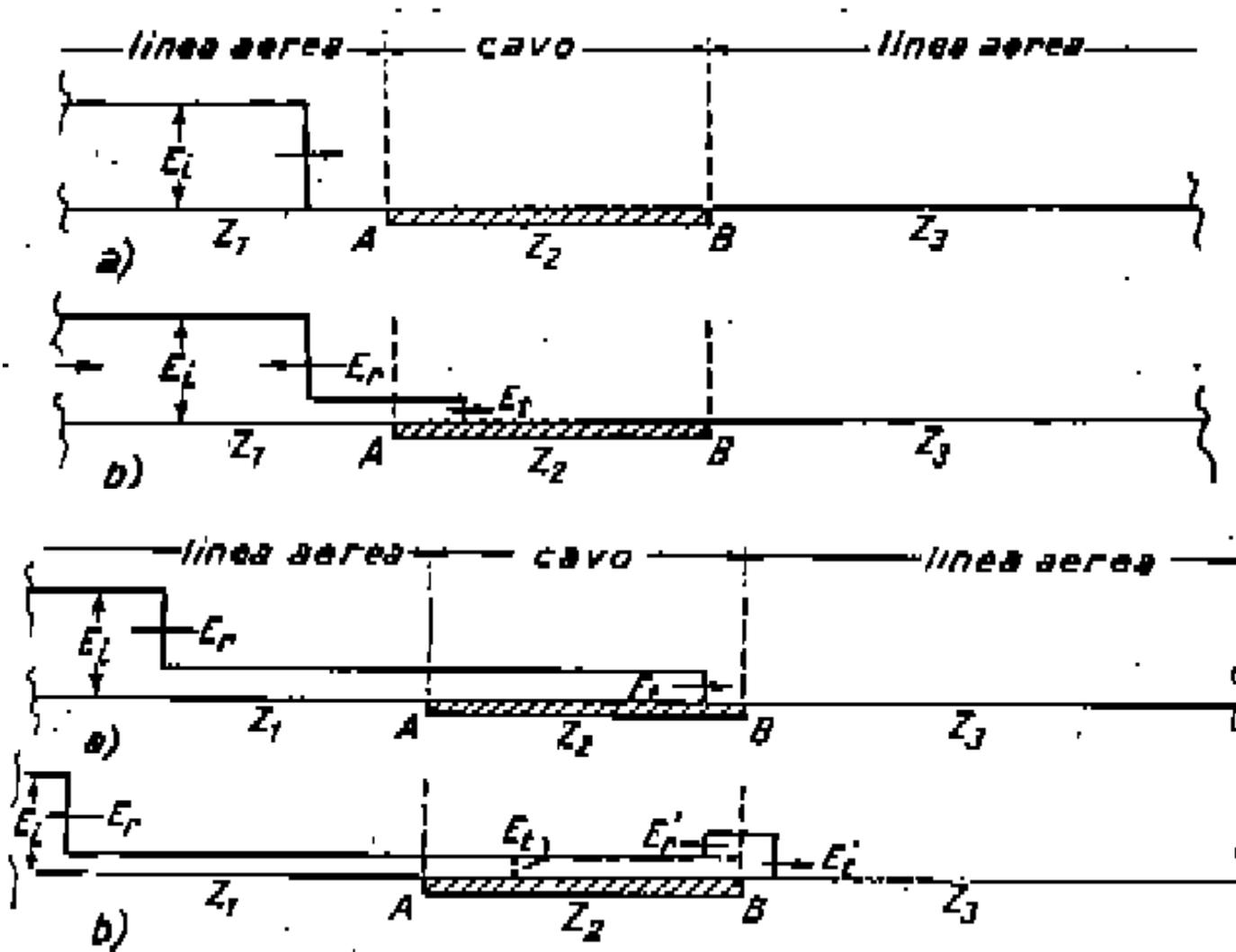
$E_o = 4$  to  $8$  kV/mm (HV to EHV)

**IEC 60840 4° ed. 2011 richiede prove di qualifica per  $E_i > 8$  kV/mm e/o  $E_o > 4$  kV/mm**

## TENSIONI TRANSITORIE



# PROGETTO ELETTRICO



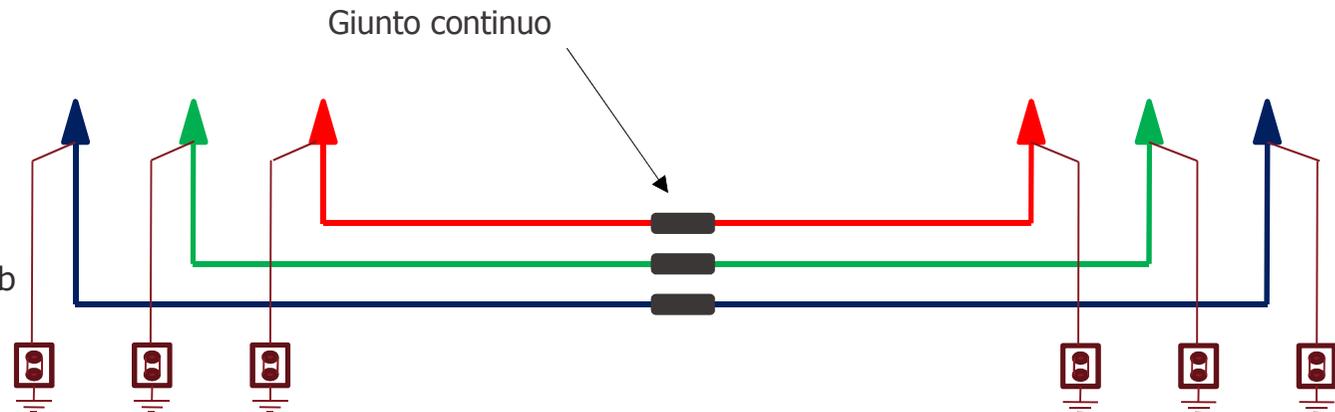
### **METODO DI CONNESSIONE DELLE GUAINA METALLICHE**

- 1) Cortocircuitate agli estremi (Solid Bonding)
- 2) Trasposte (Cross Bonding)
- 3) Isolate ad un estremo (Single Point Bonding)

## Solid Bonding

Generalmente utilizzato per correnti fino a 500 A

- Formazione a trifoglio chiuso
- Perdite nelle guaine 5-40% delle perdite nel conduttore
- Perdite nelle guaine di Al > delle perdite nelle guaine di Pb
- Livello di manutenzione basso



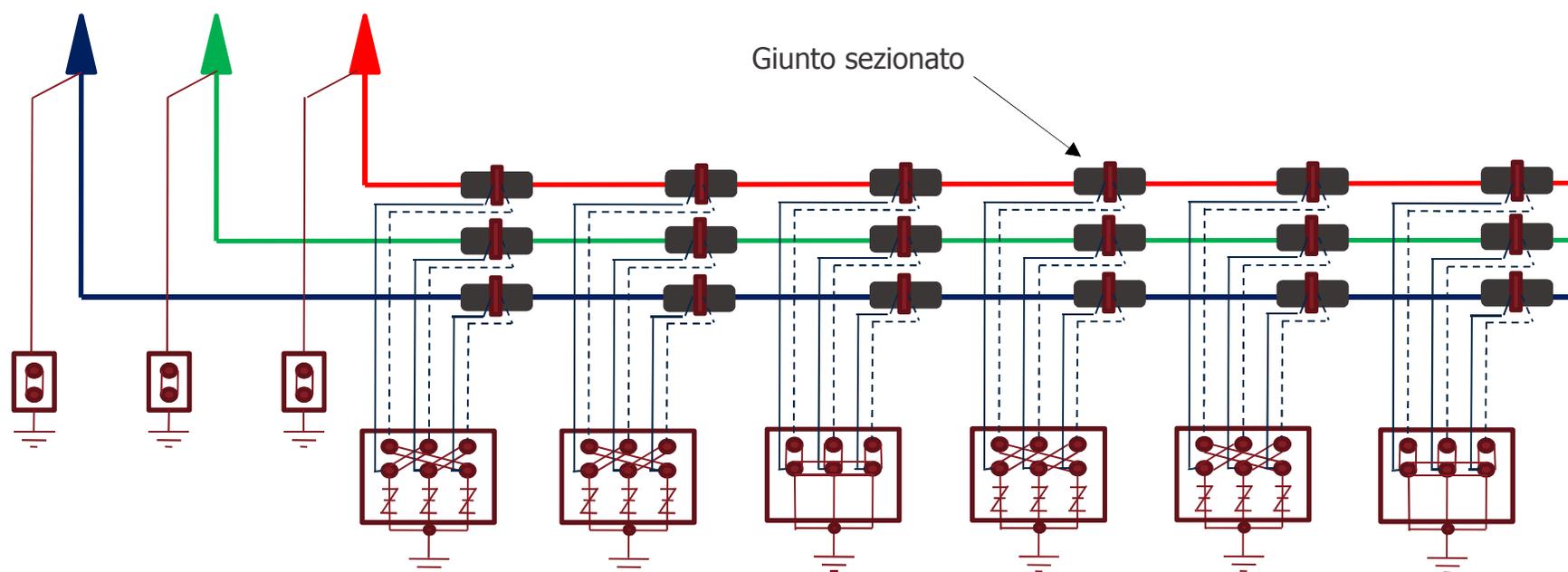
La corrente circolante nel conduttore principale genera un campo magnetico che si concatena alla guaina metallica. La tensione indotta risultante genera una corrente di circolazione, causando perdite per effetto Joule

$$W_g = R_g \times I_g^2$$

$$I_g = V_g / Z_g$$

## Cross Bonding

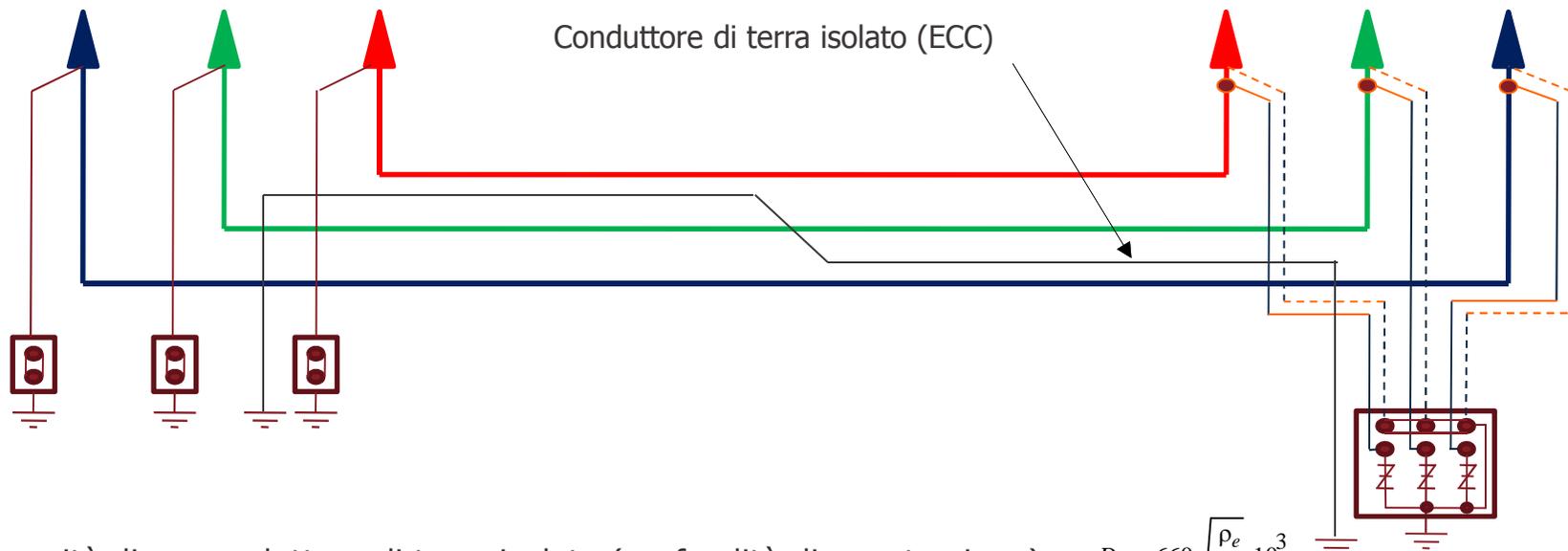
Generalmente utilizzato per correnti > 500 A



- Tensione indotta inferiore per formazione a trifoglio anzichè in piano
- Perdite nelle guaine metalliche virtualmente nulle per circuito bilanciato (solo perdite per correnti parassite). Perdite da valutare per circuiti sbilanciati (variazioni di spaziatura e di lunghezza)
- Manutenzione richiesta (scaricatori di tensione e guaina esterna)

## Single Point Bonding

Generalmente utilizzato per correnti > 500 A

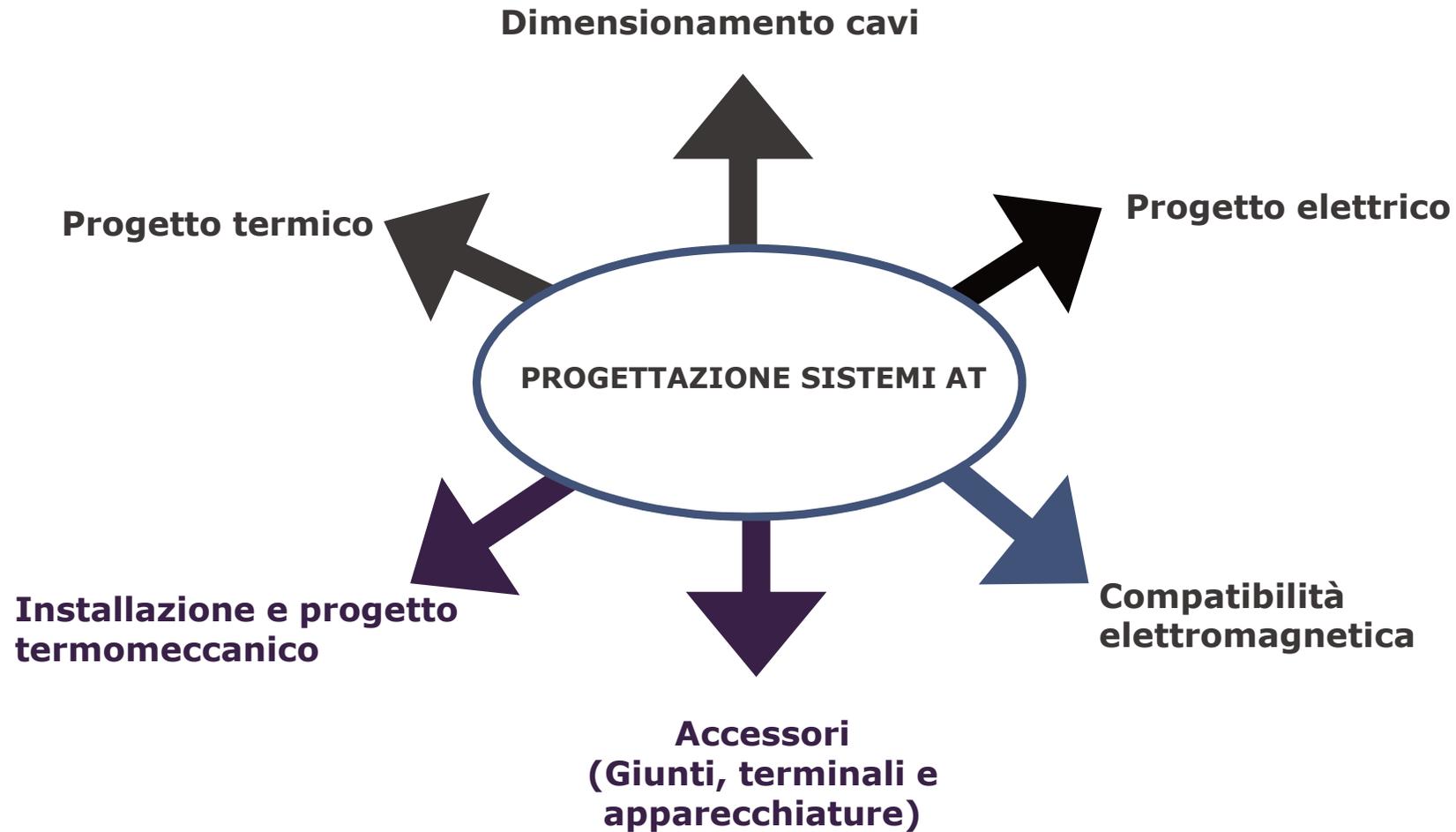


- Necessità di un conduttore di terra isolato (profondità di penetrazione)
- Perdite nelle guaine metalliche virtualmente nulle (solo perdite per correnti parassite)
- Manutenzione richiesta (scaricatori di tensione e guaina esterna)

$$D_e := 660 \sqrt{\frac{\rho_e}{f}} \cdot 10^3$$

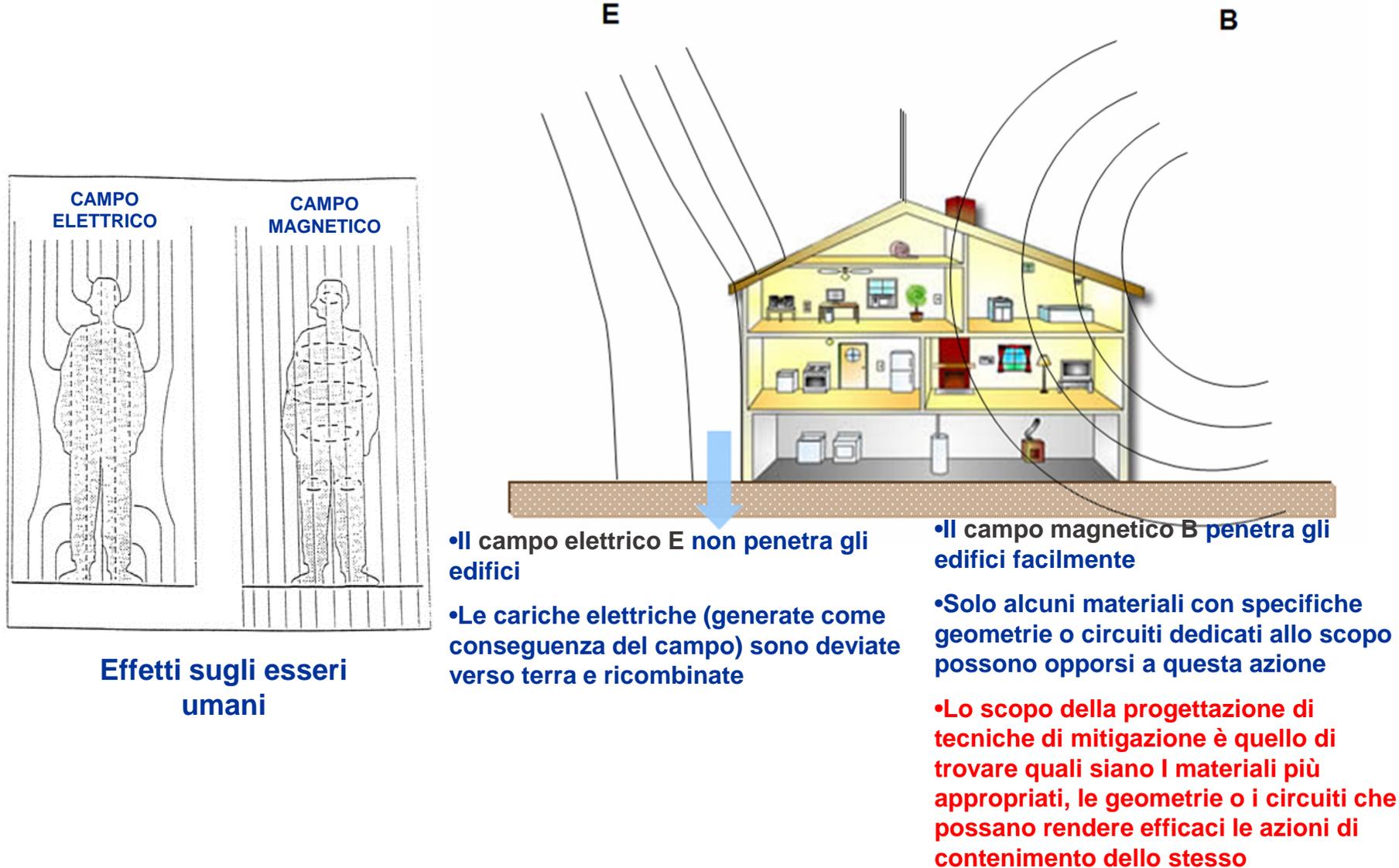
# PROGETTAZIONE DEI SISTEMI IN CAVO AT

---



# COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

## CONFRONTO TRA CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO



# COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

## TECNICHE DI MITIGAZIONE – CAVI PASSIVI (TRINCEA)



# COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

## TECNICHE DI MITIGAZIONE – CAVI PASSIVI (BUCA GIUNTI)



# COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

---

## TECNICHE DI MITIGAZIONE – CANALETTA SCHERMANTE



- **Elevato fattore schermante**
- **Facilità di installazione**

# COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

## TECNICHE DI MITIGAZIONE – CANALETTA SCHERMANTE



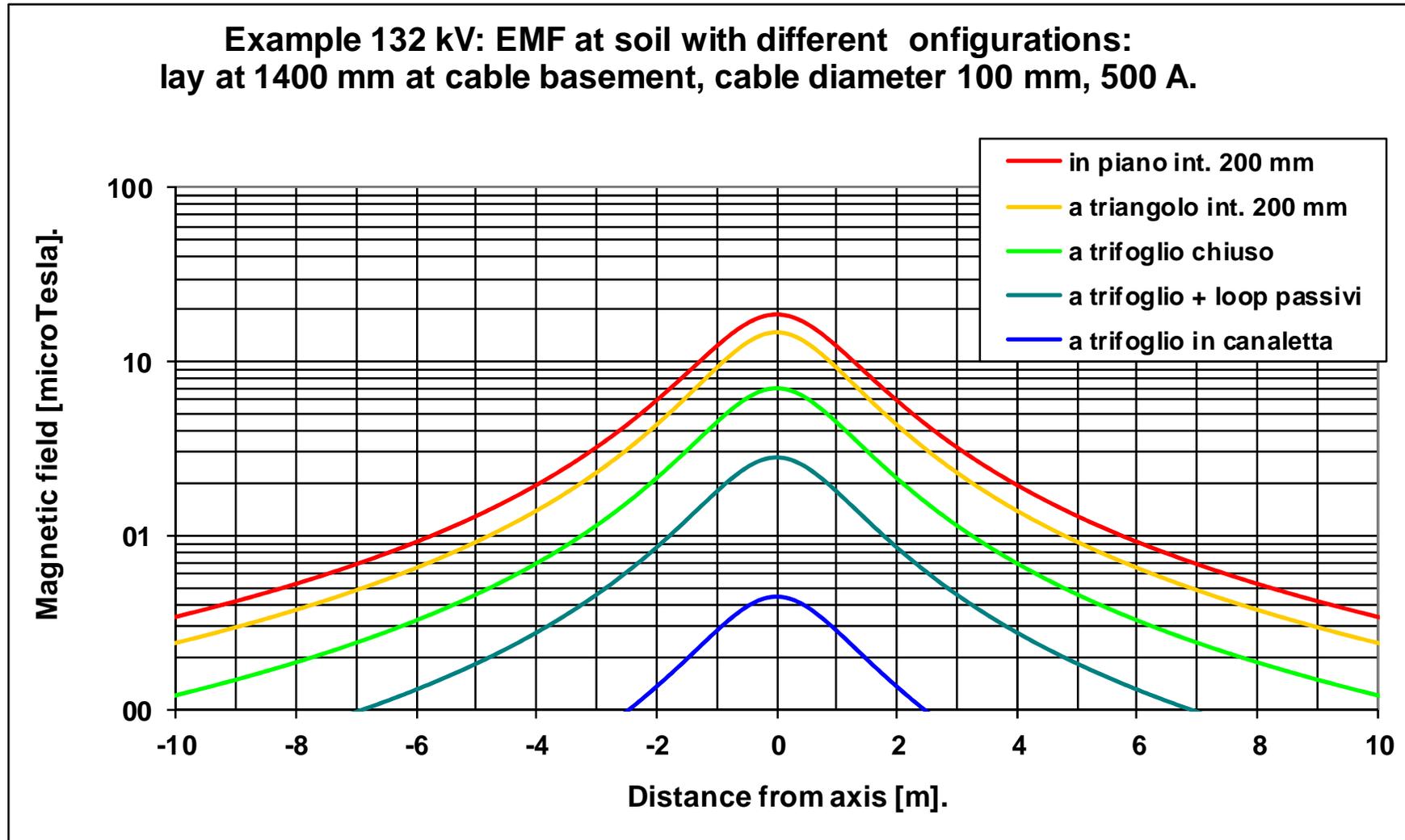
TRINCEA



BUCA GIUNTI

# COMPATIBILITA' ELETTRROMAGNETICA

Confronto EMF in funzione della geometria e del sistema schermante



**Prove**

# PROVE

---

## PROVE DI FABBRICA

$U \leq 150 \text{ kV}$  - IEC 60840

$U > 150 \text{ kV}$  - IEC 62067

### Prove elettriche:

**Prova di tensione sull'isolamento principale**

**Misura delle scariche parziali**

**Misura resistenza in C.C. del conduttore**

**Tensione in C.C. sulla guaina termoplastica esterna**

# PROVE

---

## PROVE DOPO POSA

$U \leq 150 \text{ kV}$  - IEC 60840

$U > 150 \text{ kV}$  - IEC 62067

### **Prova di tensione sull'isolamento principale**

1 h C.A. A valori di tensione definiti (es., 150 kV per sistemi a 150 kV e 260 kV per sistemi a 400 kV)

*In alternativa*

24 h SOAK TEST a  $U_0$  (connessione alla rete)

Prova in C.C. non contemplata

### **Prova di tensione in C.C. Sulla guaina esterna**

### **Misura delle scariche parziali (opzionale)**

Metodi on-line e off-line disponibili

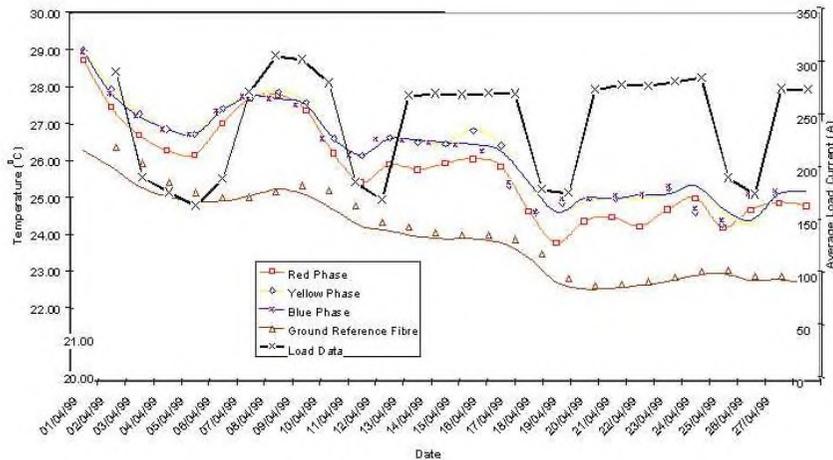
# PROVE

## PROVE DOPO POSA



# Monitoraggio e diagnostica

# MONITORAGGIO E DIAGNOSTICA



## DISTRIBUTED TEMPERATURE SENSING (DTS)

- Monitoraggio delle caratteristiche ambientali
- Monitoraggio della temperatura degli strati del cavo



## REAL TIME THERMAL RATING (RTTR)

- Massimizzazione capacità termica del circuito
- Imostazione allarmi
- “Storia termica” (valutazione della vita)
- Gestione del carico del sistema in condizioni nominali, di emergenza e di sovraccarico

# MONITORAGGIO E DIAGNOSTICA



Sensore integrato nel cavo

# MONITORAGGIO E DIAGNOSTICA

---



Sensore esterno al cavo, in contatto con esso

# Misura delle scariche parziali in modalità WIRELESS (PRYCAM)

Le scariche parziali costituiscono una delle cause principali del deterioramento dell'isolamento del cavo



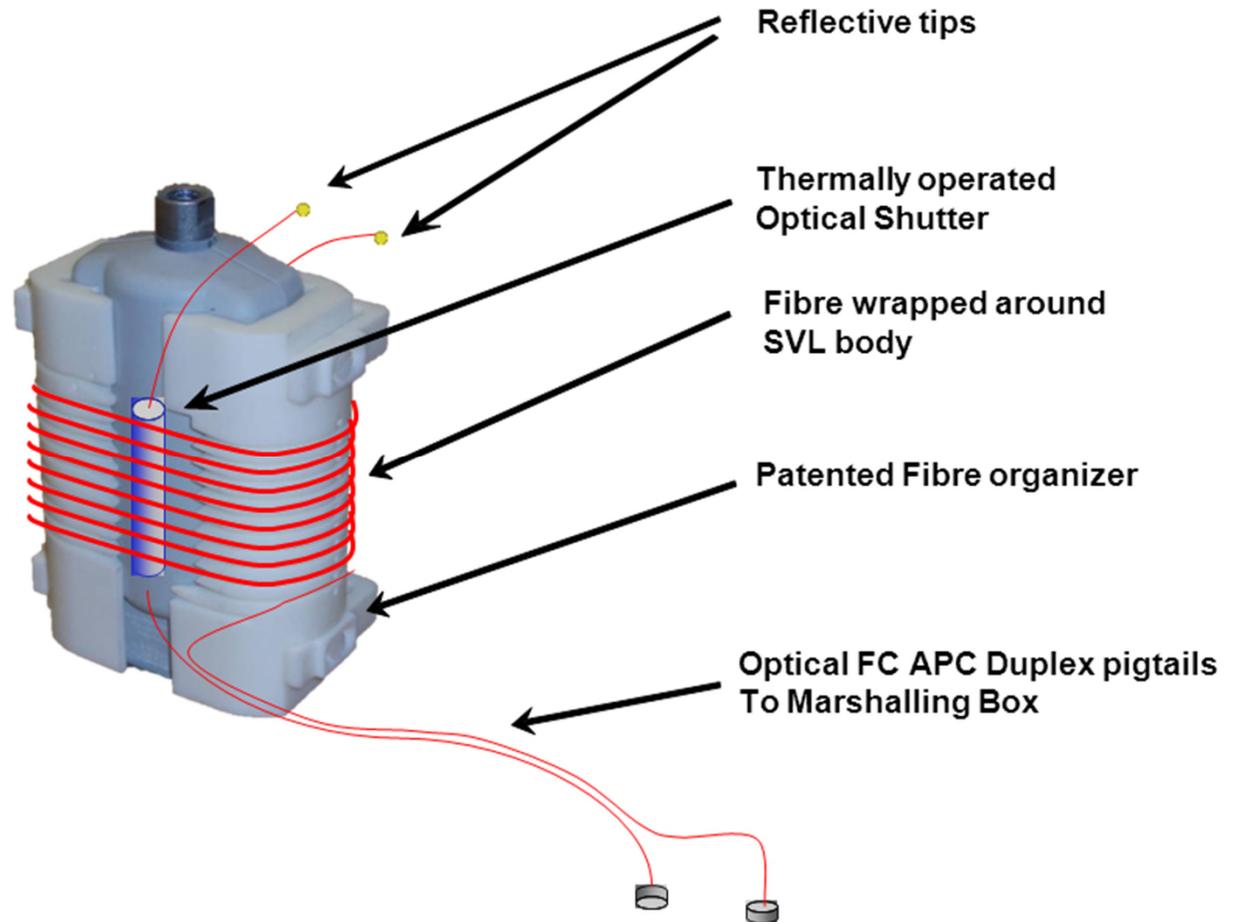
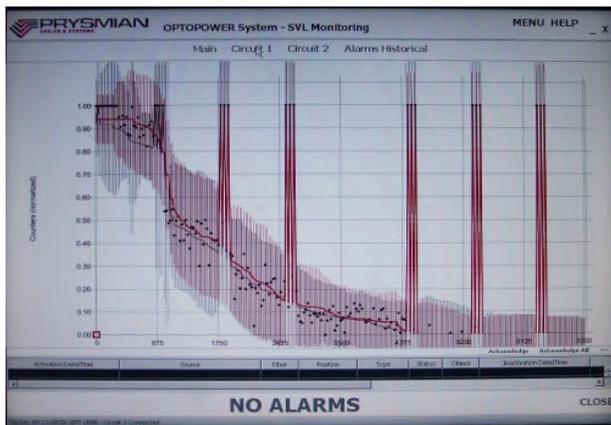
- ✓ **On-line** (nessuna necessità di messa fuori servizio della linea)
- ✓ **Misure** (one-shot) o **monitoraggio** (continuo)
- ✓ **Adatta a diverse apparecchiature** (cavi, GIS, trasformatori, macchine rotanti,...)

## Campi di applicazione



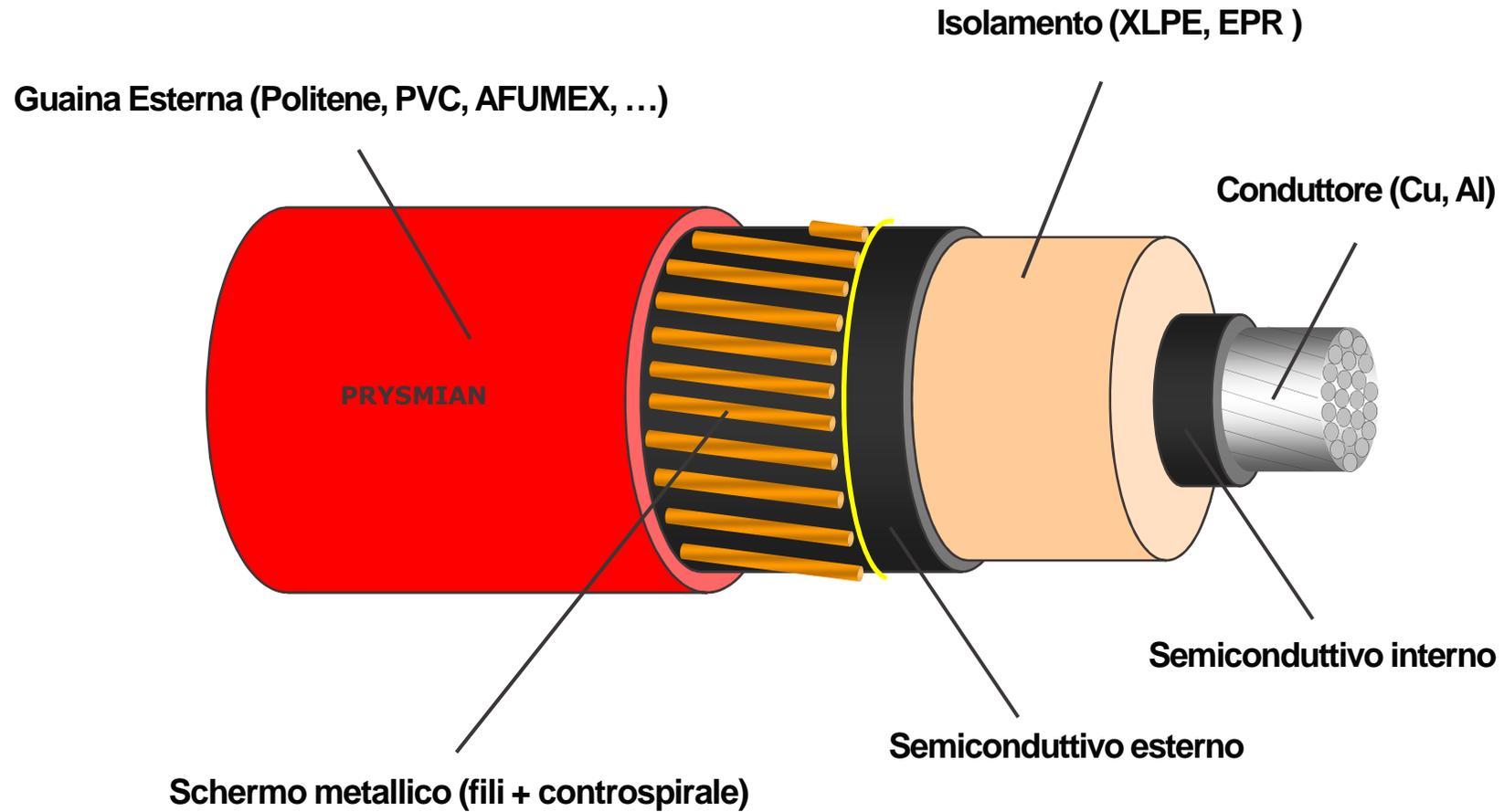
## MONITORAGGIO E DIAGNOSTICA

Sistema di monitoraggio on-line per la verifica dell'integrità degli scaricatori di tensione delle cassette di sezionamento



# MEDIA TENSIONE

# ANATOMIA DI UN CAVO MEDIA TENSIONE:



## COSA SI INTENDE PER MEDIA TENSIONE:

---

- 3,6/6 kV (7,2 kV)
  - 3,8/6,6 kV
- 6/10 kV (12 kV)
- 8,7/15 kV (17,5 kV)
- 12/20 kV (24 kV)
  - 12,7/22 kV
- 18/30 kV (36 kV)
  - 19/33 kV
- 26/45 kV (52 kV)

**$U_0$  = tensione nominale d'isolamento tra un conduttore isolato qualsiasi e la terra;**

**$U$  = tensione nominale d'isolamento tra due conduttori qualsiasi nel cavo;**

**$U_m$  = tensione massima concatenata che può verificarsi tra due conduttori di fasi diverse;**

# CAVO MEDIA TENSIONE: NORME COSTRUTTIVE E DI TEST

---

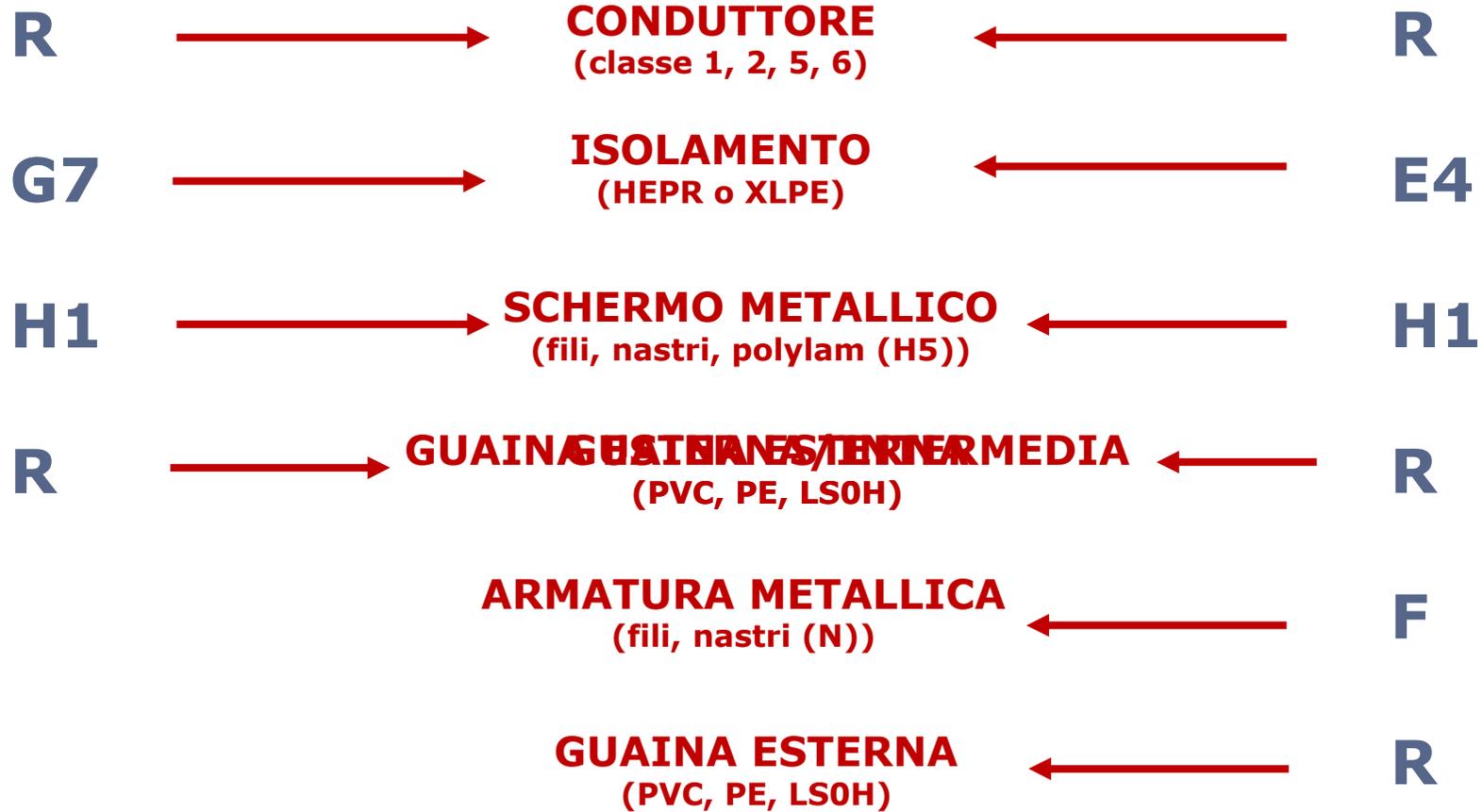
- i. **CEI 20-13**: «Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 kV a 30 kV»
- ii. **IEC 60502-2**: «Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 6 kV up to 30 kV»
- iii. **HD 620 P9 SE**: «HEPR insulated single core cables, and single core pre-assembled cables»
- iv. **HD 620 P10 SG**: «XLPE insulated single core cables, and single core pre-assembled cables»

# CAVO MEDIA TENSIONE: SIGLE DI DESIGNAZIONE

## CAVO UNIPOLARE

CEI 20-13

IEC 60502-2



# CAVO MEDIA TENSIONE: SIGLE DI DESIGNAZIONE

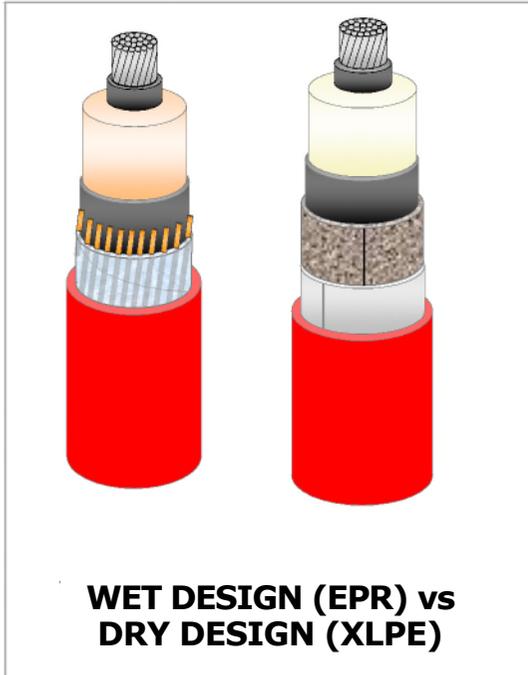
## CAVO MULTIPOLARE

CEI 20-13

IEC 60502-2



# ESEMPI DI CAVI MEDIA TENSIONE:



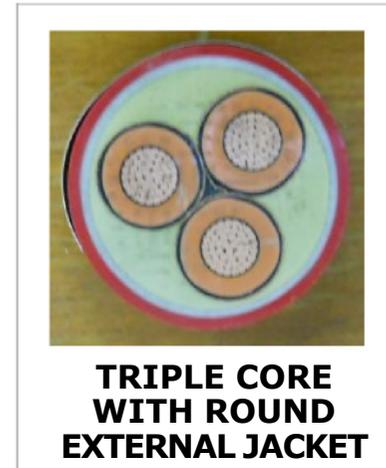
**WET DESIGN (EPR) vs  
DRY DESIGN (XLPE)**



**SOLID CONDUCTOR  
TRIPLE CORE  
HELICALLY LAID UP**



**SOLID CONDUCTOR  
TRIPLE CORE  
HELICALLY LAID UP  
COMMON JACKET AND  
SCREEN**



**TRIPLE CORE  
WITH ROUND  
EXTERNAL JACKET**



**TRIPLE CORE  
DRY DESIGN  
HELICALLY LAID UP**

# CAVO MEDIA TENSIONE: RIASSUNTO

CONDUTTORE			ISOLAMENTO		SCHERMO METALLICO	
Materiale	Disegno	Forma	Materiale	Disegno (Spessore)	Materiale	Disegno
Cu	Solido (classe 1)	Concentrico	PVC	Spessore pieno	Cu	Elica di nastri
Al	Rigido (classe 2)	Settorale	XLPE	Spessore compatto	Al	Elica fili + ns equalizz.
	Flessibile (classe 5)		HEPR			Nastro longitudinale

ARMATURA METALLICA		GUAINA
Materiale	Disegno	Materiale
Al	Elica di nastri	PE
Steel	Elica fili	PVC
	Piattine	LSOH

# CAVO MEDIA TENSIONE: ESPORTAZIONE IN RUSSIA

- **TUCR** → « *Costums Union Certificate* », nato dall'unificazione di certificazioni ROK (Bielorussia, Kazakhstan) e GOST (Russia)
- Il certificato TUCR è una direttiva tecnica per cavi fino a tensioni 1 kV
- I cavi in media tensione dispongono di una certificazione di conformità
- Le procedure di certificazione prevedono:
  - ✓ Audit da parte di ente terzo
  - ✓ Prove presso laboratorio russo
- Certificazione dei cavi per:
  - ✓ su singola commessa
  - ✓ con validità 3/5 anni

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ**  
**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**  
(обязательная сертификация)

№ С-ИТ.ПБ22.В.22664

**ЗАЯВИТЕЛЬ** № 0001497  
«PRYSMIAN CAVI E SISTEMI ITALIA Srl». Адрес: Viale Sarca 222, 20126 Milano (Italy), Италия.

**ИЗГОТОВИТЕЛЬ**  
«PRYSMIAN CAVI E SISTEMI ITALIA Srl». Адрес: Viale Sarca 222, 20126 Milano (Italy), Италия.  
заводы: (см. Приложение бланк № 0000898)

**ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ**  
Орган по сертификации промышленной продукции "РОСТЕСТ-МОСКВА" ЗАО "Региональный орган по сертификации и тестированию". Юридический адрес: 119049, г. Москва, ул. Житная, д.14, стр.1. Фактический адрес: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д.31. ОГРН: 102770600814. Телефон: (499)1291911. Факс: (499)1292600. E-mail: office@rostest.ru  
Аттестат рег. № РОСС RU.0001.11ПБ22 от 04.07.2012г.

**ПОДТВЕРЖДАЕТ, ЧТО ПРОДУКЦИЯ**

Кабель силовой, т.м. «PRYSMIAN», с изоляцией из сшитого полиэтилена, с оболочкой из полимерной композиции с низким дымо- газовыделением, с медной жилой, с числом жил 1, сечением жилы от 35 до 800 кв.мм, на напряжение 26/45 кВ, марки: RE4N1M1FM1, RE4N1OM1FM1. Серийный выпуск.	код ОК 005 (ОКП):	35 3000
	код ЕКПС:	
	код ТН ВЭД России:	8544 00 000 0

**СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА (ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ)**  
Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (Федеральный Закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008г., в ред. Федеральных законов от 10.07.2012 N 117-ФЗ, от 02.07.2013 N 185-ФЗ)  
(см. Приложение – бланк № 0000899)

**ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (ИСПЫТАНИЯ) И ИЗМЕРЕНИЯ**  
Протоколы испытаний №№ 058-С-15, 059-С-15, 060-С-15, 061-С-15, 062-С-15, 063-С-15 от 27.03.2015г. ИЛ АНО ЦСИЭ "Тест Сертификат" (рег. № ТРПБ.RU.ИНВ66 от 19.09.2011г. до 18.09.2016г., адрес: 117335, г. Москва, ул. Архитектора Власова, д. 21, корп. 3)  
Акт о результатах анализа состояния производства № 03ПБ-290 от 24.02.2015г. ОС ПП "РОСТЕСТ-МОСКВА" (рег. № РОСС RU.0001.11ПБ22 от 04.07.2012г. до 04.07.2017г.)

**ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ ДОКУМЕНТЫ**

**СРОК ДЕЙСТВИЯ СЕРТИФИКАТА СООТВЕТСТВИЯ** с 24.06.2015 по 23.06.2020

\_\_\_\_\_  
И.В. Мощенская  
заместитель руководителя  
органа по сертификации

\_\_\_\_\_  
Н.А. Гольщикова  
Эксперт (эксперты)

ЗАО "Орион" - Москва, 2014. - 48 - издание № 05-01-06/003-04/10 П.Ф. Т3 19887. Тел: (499) 726-47-42, www.rosstat.ru

# CAVO MEDIA TENSIONE: BASSE TEMPERATURE

## ➤ OPERATING VS INSTALLATION TEMPERATURE

IEC 60811-1-4				
Standard	Temperature	Sampling on test	Procedure	Results
Bending test	Typical for the material or otherwise specified	for cables with $D \leq 12,5$ mm	wound around the mandrel (from 10 to 2 depending on cable diameter)	no cracks on insulation, no cracks on sheath (separately tested)
Elongation test		for cables with $D > 12,5$ mm on strips with maximum thickness 2 mm and minimum 0,6 mm		Unless otherwise specified valid result shall be more than 20%
Impact test		on cable	mass of the hammer related to the cable diameter from 0,1 up to 1,5 kg	no cracks all on insulation and sheath

CSA 22.2				
Standard	Temperature	Sampling on test	Procedure	Results
Bending test	- 40 °C	on cable	wound around the mandrel (6 turns)	
Impact test			mass of the hammer 1,36 kg	no cracks all non metallic components

## ➤ POSSIBILITA' TEST ELETTRICI A BASSA TEMPERATURA (fino a -50° C)

# CAVO MEDIA TENSIONE: ALTE TEMPERATURE

---

## ❑ RISCHIO:

- danneggiamenti/rotture delle protezioni esterne dei cavi soggetti ad alte temperature ambientali (+55° C)

## ❑ COME FARE:

- Usare specifici compounds specialmente LS0H con alte performance di «tear resistance»
- Incrementare gli spessori degli elementi estrusi
- Prevedere protezioni sulle parti metalliche (schermi e armature)

## ❑ COME TESTARE:

- Non esistono normative di testing
- Prysmian ha sviluppato una metologia di testing interna per la verifica dei cavi in queste condizioni

# CAVO MEDIA TENSIONE: CAVI FIRE RESISTANT

## ➤ PROGETTO:

YAMAL LNG PLANT (Siberia)

## ➤ CAVO:

Unipolare armato in rame 6/10 kV

## ➤ TEST:

- NPI secondo IEC 60332-3A
- Resistenza al fuoco secondo la IEC 60331-21 (750° C @ 60 min)
- Piegatura e impatto a freddo secondo CSA 22.2 @ -40° C
- Test Elettrico a -50° C

**IMQ**

IMQ S.p.A. - Società per Azioni  
Via Quintana, 43 - 20138 MILANO  
Tel. 02/50713 - telefax 02/50713

Funzione Prodotto  
Product Department  
Laboratorio Cavi isolati e Nastri Adesivi  
Insulated cables and adhesive tapes Lab

Rapporto di prova CN15S0455038-01  
Test Report n°

Data: 2015-10-13  
Date:

Pag. 41 di 52

Sample before the test / Campione prima della prova



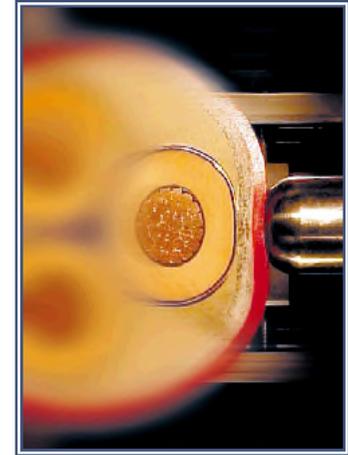
Sample after the test / Campione dopo la prova



## CAVO MEDIA TENSIONE: SISTEMA AIRBAG

---

- E' progettato come un modulo di protezione, indipendentemente dall'isolante e dalla schermatura e guaina
- La sua struttura si basa su uno strato di materiale polimerico speciale
- Garantisce migliori performances meccaniche rispetto ai cavi armati tradizionali, mantenendo gli stessi vantaggi dei cavi non armati



### **L'utilizzo dei cavi Air bag permette di:**

- Posare i cavi a minor profondità direttamente nel terreno senza protezioni meccaniche supplementari - CEI 11-17 Par. 4.3.11, b;
- Riempire la trincea con il materiale di risulta dello scavo evitando il letto di sabbia (riduzione costi aggiuntivi);
- Assicurare maggior protezione al cavo in caso di sollecitazioni e stress meccanici.

## CAVO MEDIA TENSIONE: SISTEMA P-LASER

- Rappresenta la soluzione unica in grado di garantire una maggiore affidabilità della rete, pur godendo di vantaggi operativi e ambientali
- è in grado di operare a temperature più elevate rispetto ai cavi standard
- è realizzato utilizzando materiale elastomerico termoplastico altamente performante (HPTE)
- l'utilizzo di materiali termoplastici fa sì che la fase di degasaggio non sia più necessaria e che la produzione del cavo avvenga su una singola ed ininterrotta linea.

	XLPE	P-Laser
Operating temperature	Up to 90°C	Up to 110°C
Emergency temperature	105°C	130°C
Dielectric strength	Excellent	
Electrical breakdown strength (AC, lightning impulse, after ageing)	Very good	Excellent
Thermo-pressure resistance	105°C	130°C
Handling characteristics	Good	

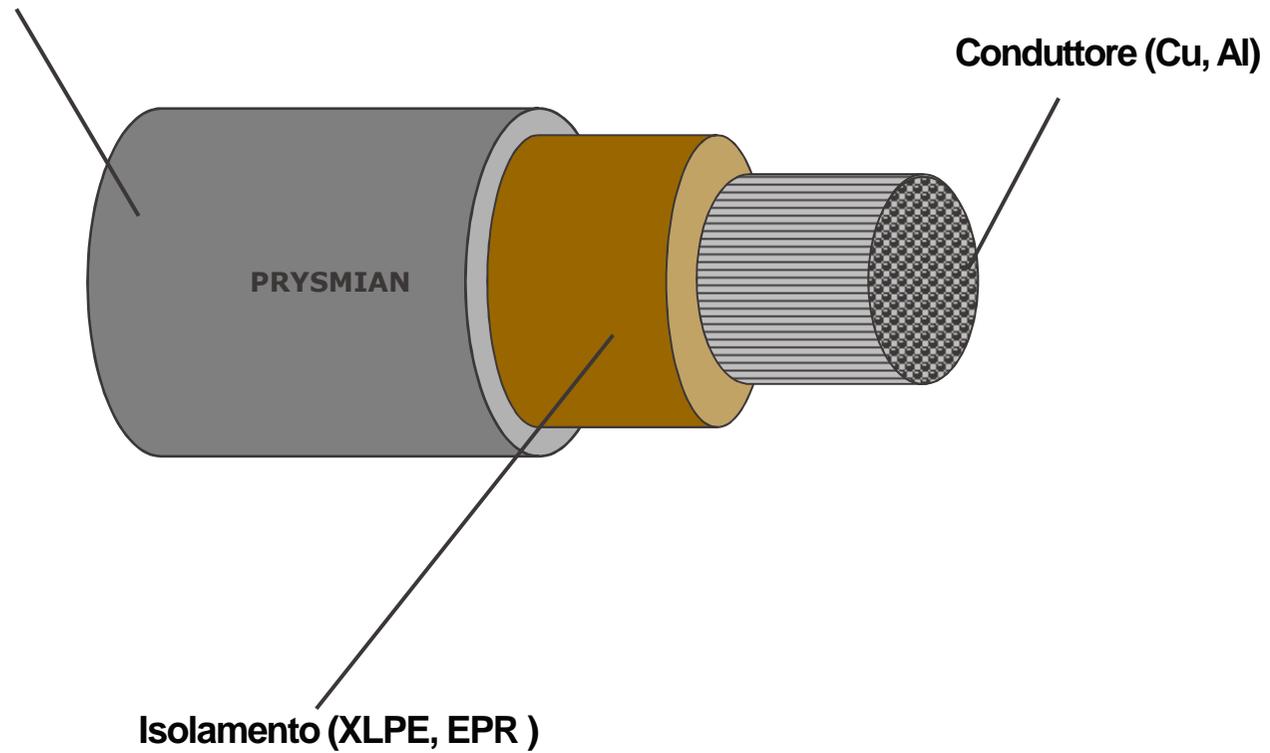
	Standard Process		P-Laser Process	
	Elapsed Time	°C	Elapsed Time	°C
Insulation	11 hours	130-300	5 hours	200
Degassing	48-24 hours	80		
Jacketing	8 hours	200		
<b>Total</b>	<b>91 hours (almost 4 days)</b>		<b>5 hours (-94%)</b>	

# BASSA TENSIONE

# ANATOMIA DI UN CAVO BASSA TENSIONE

---

Guaina Esterna (Politene, PVC, AFUMEX, ...)



# CAVO BASSA TENSIONE: NORME COSTRUTTIVE E DI TEST

---

- i. **CEI 20-13**: «Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 kV a 30 kV»
- ii. **IEC 60502-1**: «Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages of 1 kV and 3 kV»
- iii. **Tabelle CEI UNEL**

# CAVO BASSA TENSIONE: SIGLE DI DESIGNAZIONE

## CAVO UNIPOLARE

CEI 20-13

IEC 60502-1

R



**CONDUTTORE**  
(classe 1, 2, 5, 6)



R

G7



**ISOLAMENTO**  
(HEPR o XLPE)



E4

~~H1~~



**SCHERMO METALLICO**  
(fili, nastri, polylam (H5))



~~H1~~

R



**GUAINA INTERNA/INTERMEDIA**  
(PVC, PE, LSOH)



R

**ARMATURA METALLICA**  
(fili, nastri (N))



F

**GUAINA ESTERNA**  
(PVC, PE, LSOH)



R

# CAVO BASSA TENSIONE: SIGLE DI DESIGNAZIONE

## CAVO MULTIPOLARE

CEI 20-13

IEC 60502-1

<b>R</b>	→	<b>CONDUTTORE</b> (classe 1, 2, 5, 6)	←	<b>R</b>
<b>G7</b>	→	<b>ISOLAMENTO</b> (HEPR o XLPE)	←	<b>E4</b>
<del><b>H1</b></del>	→	<b>SCHERMO METALLICO</b> (nastri)	←	<del><b>H1</b></del>
<b>O</b>	→	<b>RIUNIONE ANIME + RIEMPITIVO</b>	←	<b>O</b>
<b>R</b>	→	<b>GUAINA INTERNA/INTERMEDIA</b> (PVC, PE, LSOH)	←	<b>R</b>
		<b>ARMATURA METALLICA</b> (fili, nastri (N))	←	<b>F</b>
		<b>GUAINA ESTERNA</b> (PVC, PE, LSOH)	←	<b>R</b>

**Grazie.**