



Evento realizzato in collaborazione con



IEEE



ITALY SECTION CHAPTER



“La sicurezza delle gallerie stradali: la progettazione e realizzazione a regola d’arte degli impianti elettrici e ausiliari”

25 giugno 2024
Sede ISA – Via del Commercio, 13
00154 - Roma

Progettazione degli impianti elettrici

GIUSEPPE PARISE
Presidente Generale AEIT – vice Presidente CEI

INTRODUZIONE



Un obiettivo primario della progettazione degli impianti e servizi elettrici è di dimostrare la loro realizzazione a regola d'arte o di aver adottato i criteri di riferimento proposti dalla norma CEI 64-20 che garantiscono la presunzione della regola dell'arte richiesta dalla legge 186 del 1968.

Peraltro, la conformità delle gallerie di nuova generazione alla stessa normativa garantisce *una uniformità essenziale per la semplificazione e velocizzazione degli interventi per manutenzione e riparazione guasti.*

INTRODUZIONE



In ogni caso, la progettazione non conforme alla normativa vigente ha *l'onere di dimostrare la equivalenza di efficacia delle misure adottate* a quelle proposte dalla norma per il riconoscimento della conformità alla regola dell'arte.

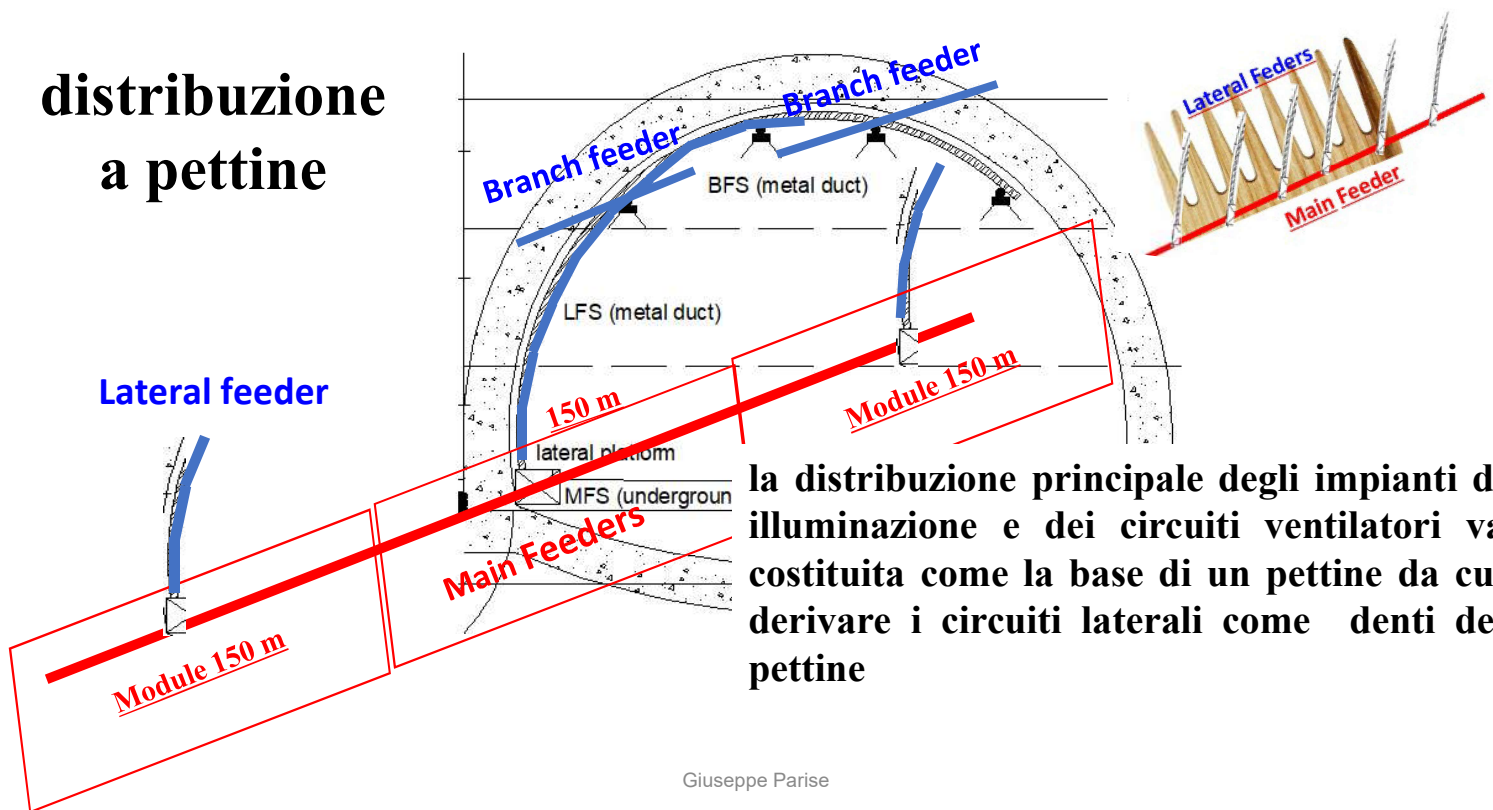
INTRODUZIONE



La Direttiva Europea 2004/54 richiede di garantire per le gallerie stradali, di lunghezza $>500\text{m}$, *un livello minimo di sicurezza* e per quelle di lunghezza $>1000\text{m}$, di integrare sistemi di *ventilazione meccanica*

I requisiti minimi relativi agli impianti sottintendono la garanzia della continuità del servizio in esercizio ordinario per prevenire incidenti e in emergenza durante e dopo un incendio, un urto meccanico o un guasto

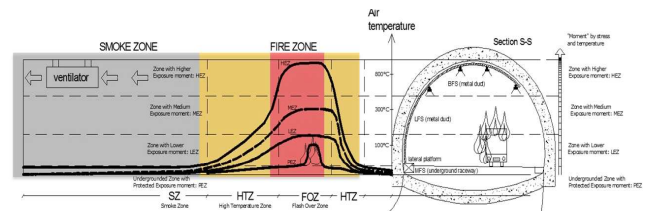
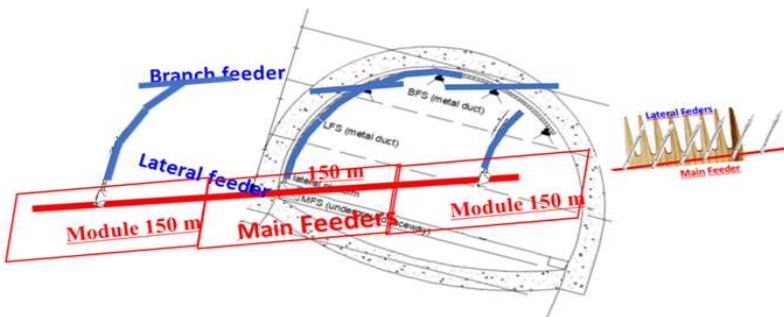
distribuzione a pettine



CRITERI DI PROGETTO

In una distribuzione a pettine, due sono i criteri progettuali utili per strutturare i sistemi in galleria:

- la "partizione modulare"
- la "zonizzazione del tunnel"



G. Parise, et alii, "The Electrical Systems of Roadway Tunnels: Safety Design and Ecomanagement," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 51, no. 2, pp. 1920-1927, March-April 2015,

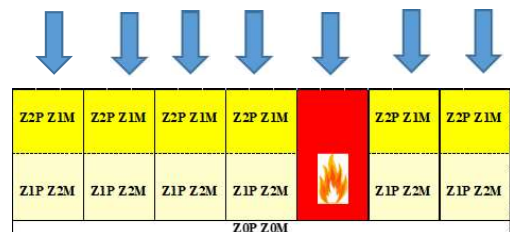
Giuseppe Parise

CRITERI DI PROGETTO

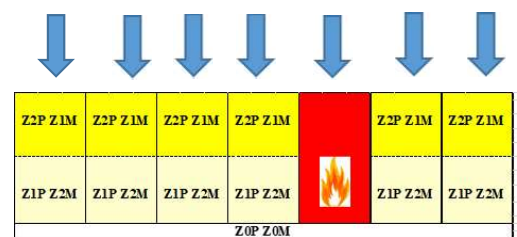
"partizione modulare"

il tunnel è suddiviso in una serie di n-moduli in ciascuno dei quali gli impianti locali sono indipendenti dagli altri moduli:

come in un treno di compartimenti indipendenti si limitano le eventuali perdite di servizio dell'impianto nel singolo modulo in cui si verifica l'evento di incendio o shock meccanico



CRITERI DI PROGETTO



"partizione modulare«: per ogni modulo
si assume come lunghezza precauzionale
un'estensione di 150 m con riferimento
all'estensione massima 50-100 m dello
scenario caldo di incendio confermata *da*
diverse prove di incendio in scala reale

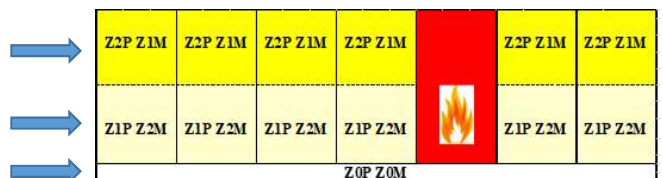


Giuseppe Parise

CRITERI DI PROGETTO

La "zonizzazione del tunnel"

Per lo **scenario caldo**, nei moduli n-1 non direttamente interessati dall'incendio, si innesca *un processo di stratificazione dei fenomeni termici e fumi*

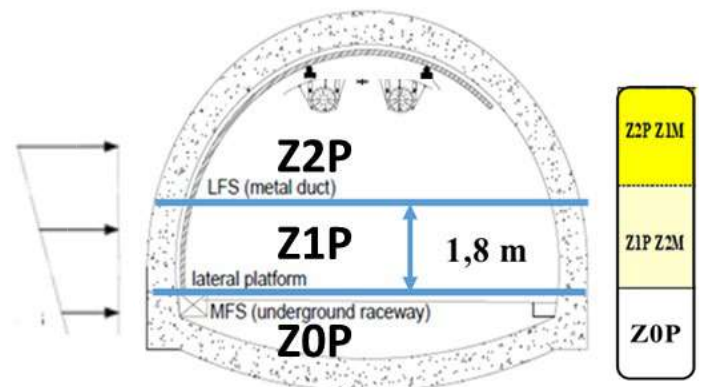
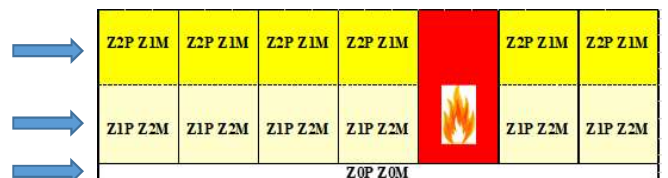


CRITERI DI PROGETTO

La "zonizzazione del tunnel"

In base al livello di esposizione alle *temperature* che aumentano con l'aumentare dell'altezza, si individuano tre zone

zona 0P zona 1P zona 2P

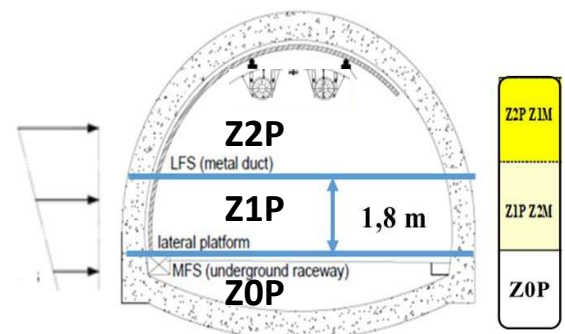
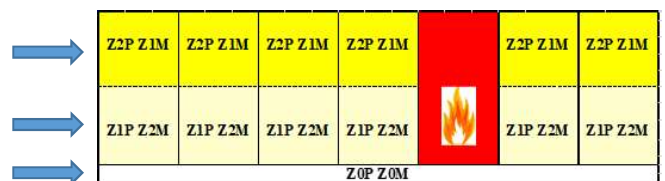


CRITERI DI PROGETTO

Negli n-1 moduli con scenario caldo

i corpi illuminanti devono funzionare fino ad una temperatura media di almeno 80°C in Z1P e di 150°C in Z2P.

i jet fan per la ventilazione longitudinale devono garantire il corretto funzionamento fino ad una temperatura media dei fumi di almeno 400°C per 2 ore secondo EN12101-3 (NFPA 502-2020 250°C 1 ora)

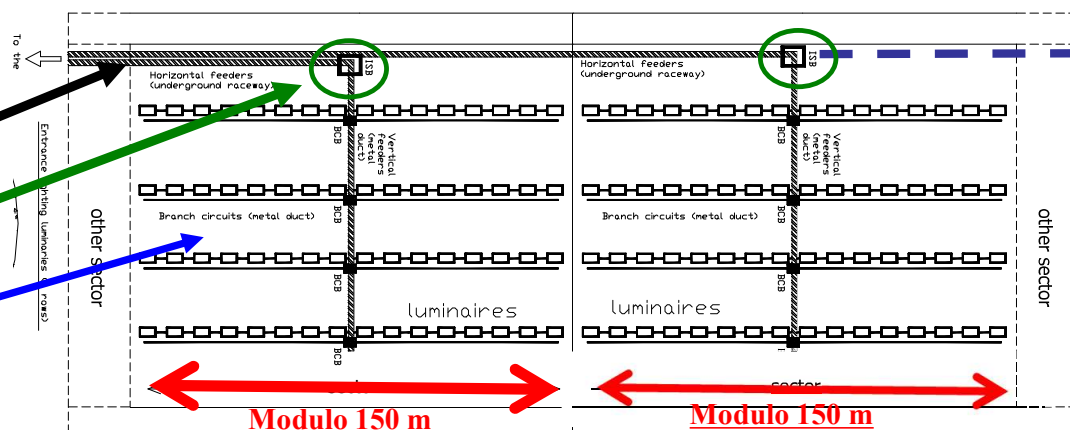


La distribuzione complessiva BT può essere suddivisa in tre sottosistemi di distribuzione:



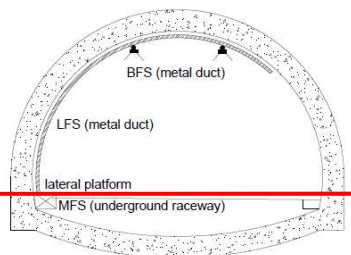
Circuiti

- Principali
- Dorsali
- Terminali



PROGETTO DEI SISTEMI TECNOLOGICI

Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M
Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M
			Z0P Z0M



I **circuiti principali di distribuzione**, che devono raggiungere i quadri dei moduli distribuiti nel tunnel ***devono transitare installati nella zona 0P, per essere intrinsecamente protetti dall'esposizione termica e meccanica.***

PROGETTO DEI SISTEMI TECNOLOGICI

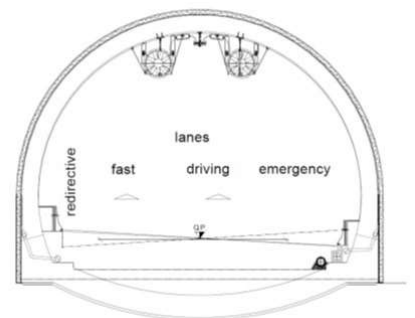
Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M
Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M
Z0P Z0M			



Per qualsiasi distribuzione che attraversa più moduli, l'adozione di cavi resistenti al fuoco non giustifica l'installazione fuori dalla zona Z0P

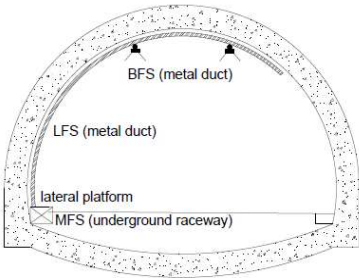
PROGETTO DEI SISTEMI TECNOLOGICI

Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M
Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M
Z0P Z0M			



Di ogni circuito che alimenta singolarmente un jet fan, la prima parte fino al modulo di installazione, deve transitare nella zona 0P-0M, per essere intrinsecamente protetta dall'esposizione termica e meccanica.

PROGETTO DEI SISTEMI TECNOLOGICI

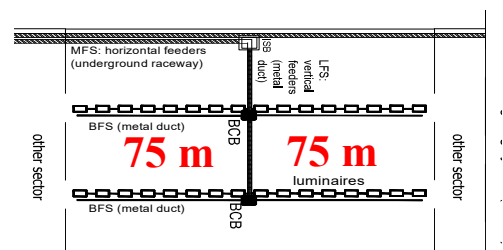


Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M	Z2P Z1M
Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M	Z1P Z2M
Z0P Z0M			



In ogni modulo, le dorsali, i circuiti terminali e la seconda parte dei circuiti jet fan raggiungono necessariamente gli apparecchi illuminanti e i jet fan, posati nelle Z1P-2M e Z2P-1M non intrinsecamente protette: *quindi i cavi devono essere resistenti al fuoco*

MODULARITA' DEI CIRCUITI



In ogni modulo, le distribuzioni dorsali e terminali assumono naturalmente una configurazione in *settori di carico simmetrici*, cioè di circa 75 m, a valle e a monte del quadro di modulo *con un sistema distribuito, omogeneo e standardizzato che rende l'installazione e la manutenzione facile veloce e ripetitiva.*

SOPRATTUTTO PER LE CONDIZIONI DI EMERGENZA

Il dimensionamento dei *trasformatori* ed in particolare dei *gruppi elettrogeni*, deve essere adeguato

- *all'entità dei carichi*

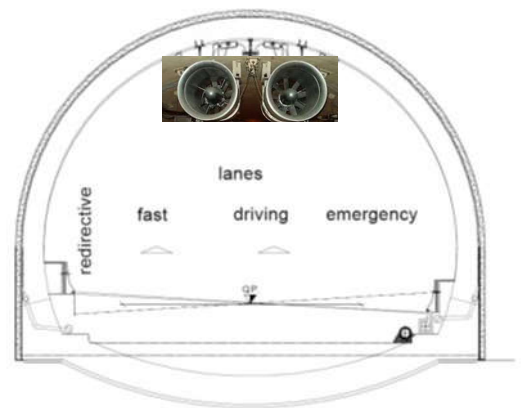
- *alle sovracorrenti e i disturbi elettrici a causa di:*

correnti di spunto dei jet fan e degli alimentatori LED

contributo armonico degli inverter soft start ecc.

squilibri di carico e l'asimmetria del sistema di tensioni

PROGETTO DEI SISTEMI TECNOLOGICI



Il sistema di ventilazione fornisce la mitigazione degli effetti di un incendio con controllo del calore e del fumo:

in emergenza è fondamentale il suo funzionamento

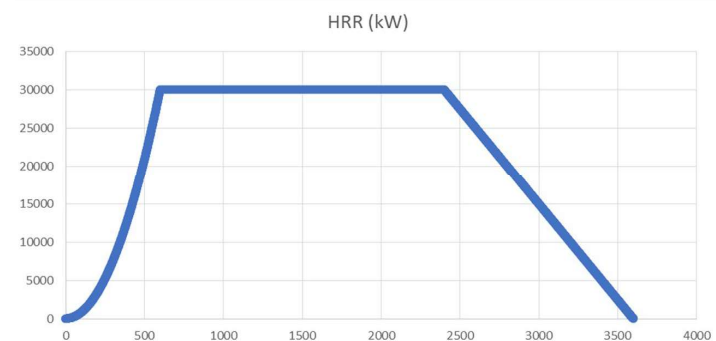
CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA

È noto che un incendio sprigiona potenza termica e il tasso di calore HRR in MW rilasciato con legge quadratica del tempo t è così definito



$$\text{HRR} = \alpha t^2$$

Il tempo t di riferimento è 600 s



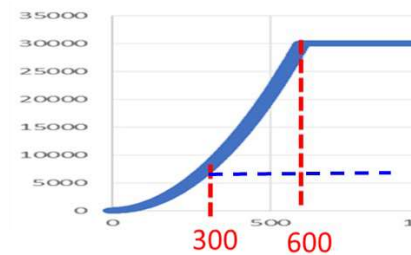
CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA

Per la mitigazione degli incendi, un obiettivo progettuale è:

- garantire la continuità di servizio dei jet fan
- ridurre i tempi di attivazione della ventilazione di emergenza: riducendo il tempo di attivazione t , i. e. da 600s a 300s, il valore della *potenza termica* si riduce ad *un quarto* (0,25) di $P(600s)$.



Vehicle Type	P (600s)	α ($\Delta T W / s^2$)	P(300s)
Passenger	5	1.39E-05	1.25
	10	2.78E-05	2.5
Light duty	15	4.17E-05	3.75
Coach, bus	20	5.56E-05	5
Lorry H (≤ 25 t)	30	8.33E-05	7.5
	50	1.39E-04	12.5
Heavy-goods H (25-50t)	70	1.94E-04	17.5
	150	4.17E-04	37.5
Petrol tanker	200	5.56E-04	50
	300	8.33E-04	75



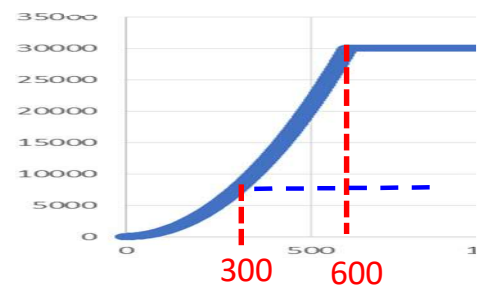
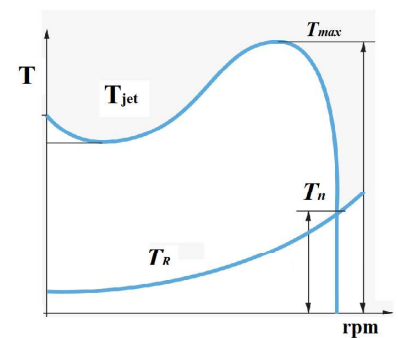
CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA

Per ridurre il tempo di avviamento e mitigare il valore del calore rilasciato HRR da un incendio, occorre selezionare ventilatori con

- coppia motrice massima T_{max} elevata garantisce una coppia di accelerazione ottimale, $T_a = T_j - T_R$
- momento d'inerzia ridotto J

$$t_s = (2\pi/60) J n / T_a$$

Giuseppe Parise



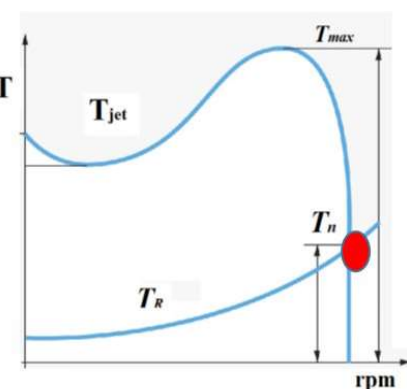
CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA

I jet fan richiedono una caduta di tensione transitoria non superiore al valore tollerato perché la coppia motrice T varia con il quadrato della tensione di alimentazione.

Il valore minimo della coppia motrice $T_{\min}$ deve essere non inferiore al valore nominale

$$T_{\min} \geq T_n$$

$$T \propto (U - \Delta U)^2$$



CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA

Ad esempio, se il *grado di sovraccarico* è $T_{\max}/T_n = 1,6$ a piena tensione, la caduta di tensione transitoria ammissibile nella fase di avviamento non può essere superiore al 20%

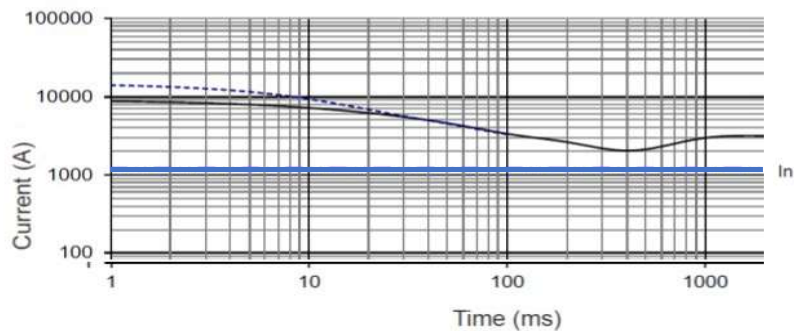
Infatti con $U_s = 0,8U_n$ il valore minimo $T_{\min}$ è pari a

$$T_{\min} = 0,8^2 \cdot 1,6 T_n \approx T_n$$



Giuseppe Parise

CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA



Per un gruppo elettrogeno

È rilevante notare che dopo un tempo di 90-110 millisecondi la corrente di cortocircuito trifase tende a dimezzarsi

Pertanto, è necessaria un'adeguata protezione selettiva per evitare il fuori servizio dello stesso generatore addetto a garantire il servizio di emergenza

Giuseppe Parise

CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA



Le gallerie a doppio fornice (>500 m) richiedono una potenza dell'ordine di 1,0-1,5 MVA/km

Le gallerie lunghe possono richiedere *almeno due cabine MT/BT*, una per ciascuno degli ingressi opposti ed è auspicabile *con due punti di consegna POD*

CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA



l'alimentazione dai trasformatori, ovvero da rete, anziché da GE garantisce *una maggiore prestazione funzionale a livello generale e immunità ai disturbi* derivanti dall'elevata corrente che può essere assorbita durante l'avviamento diretto dei jet fan

CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA



Un **secondo punto indipendente di consegna** può essere ammesso come **seconda sorgente**, a condizione che “si possa assicurare come improbabile che le due alimentazioni possano mancare contemporaneamente” *anche se è raccomandabile comunque l’adozione di gruppi elettrogeni locali.*

CRITERIO DI SOSTENIBILITÀ NELL'EMERGENZA



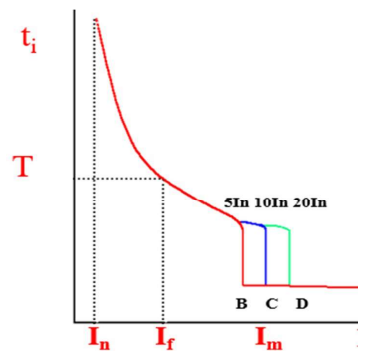
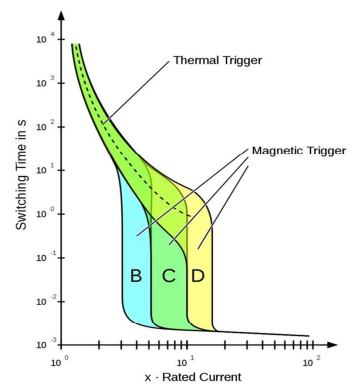
In particolare, per circuiti di lunghezza di centinaia metri dei circuiti, la verifica del coordinamento della protezione dei circuiti (sezioni dei cavi – taratura degli interruttori) va particolarmente evidenziata per la garanzia della sicurezza e continuità del servizio dei circuiti

La norma IEC/EN 60898-1 riporta tre curve di intervento per la protezione di massima corrente degli interruttori magnetotermici con corrente nominale I_n :

la curva B con una corrente di intervento magnetico I_m pari a 5 volte I_n ,

la curva C con $I_m = 10$ volte I_n

la curva D con $I_m = 14-20$ volte I_n

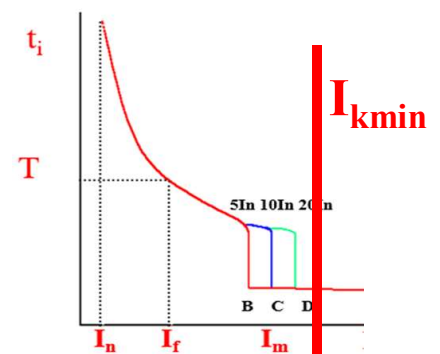


Giuseppe Parise

*un criterio di protezione per gli interruttori è quello di impostare la corrente di intervento istantanea I_m non superiore al valore della **corrente di cortocircuito minimo***

$$I_m \leq I_{kmin}$$

$$t_i = 20 \text{ ms}$$

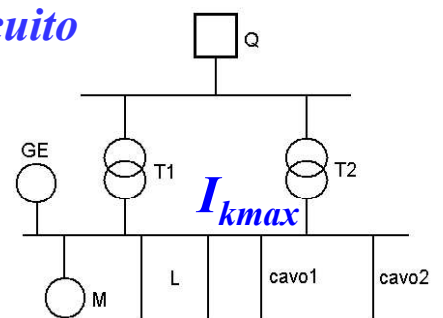


Calcolo della corrente di corto circuito

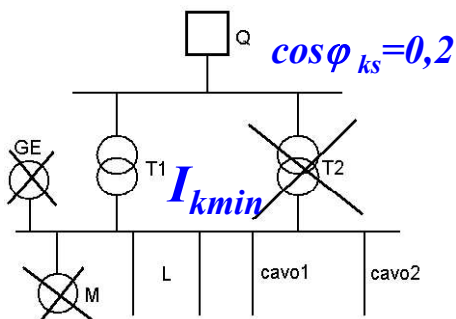
Valore massimo e minimo

i componenti rilevanti:

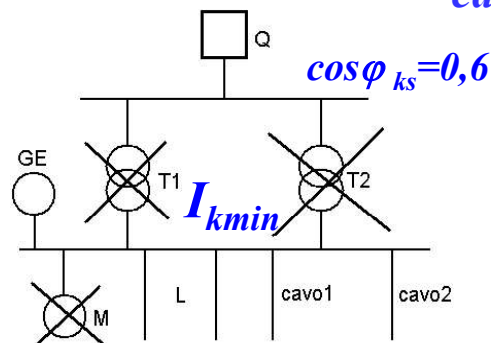
- punto di consegna Q dell'energia
- trasformatori T (T1,T2)
- linee L in cavo (cavo1, cavo2)
- ventilatori M
- generatori GE - UPS



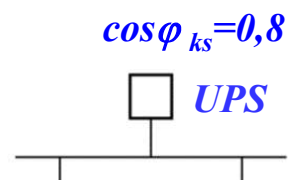
carichi normali



carichi normali



carichi preferenziali

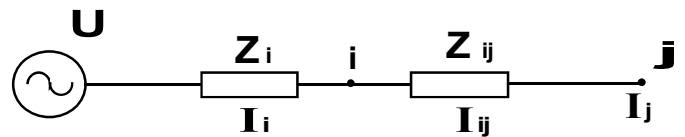


carichi critici

UPS

VALUTAZIONE DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO

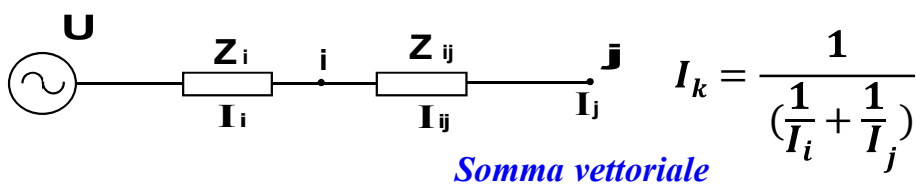
Per valutare la corrente di corto circuito si può applicare il metodo della corrente caratteristica CCM (modello di Parise):



Si basa sulla corrispondenza tra impedenza e inverso della corrente caratteristica di impedenza alla tensione nominale U_n

$$I_{ij} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_i + Z_j)} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{Z_i}{U_n} + \frac{Z_j}{U_n} \right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{I_i} + \frac{1}{I_j} \right)}$$

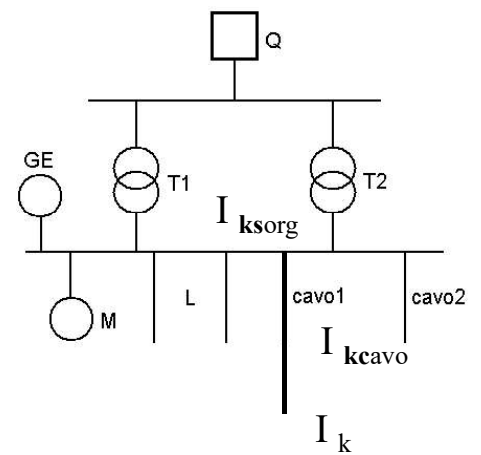
Somma vettoriale



Somma vettoriale

il valore assoluto di I_k è:

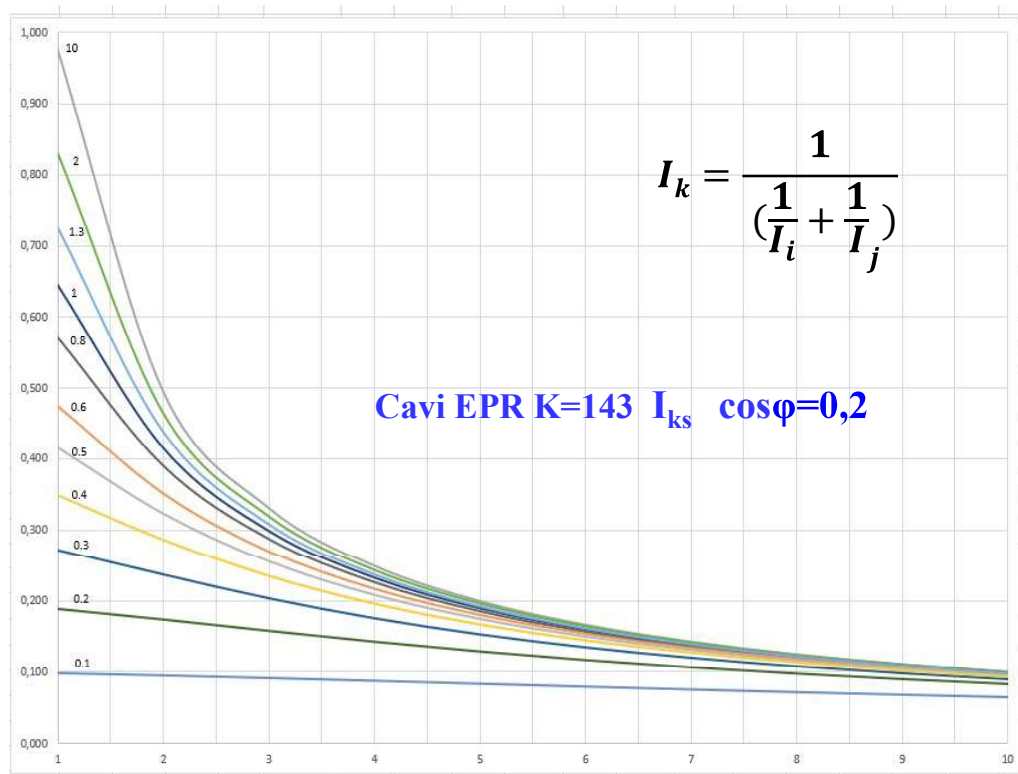
$$\frac{1}{I_k} = \sqrt{\frac{1}{I_{ks}^2} + \frac{1}{I_{kc}^2} + \frac{2\cos\varphi_{ks}\cos\varphi_{kc}}{I_{ks}I_{kc}}}$$



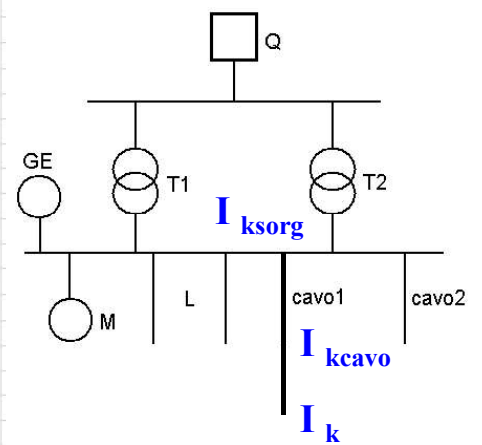
La conoscenza di I_k permette di calcolare:

$$\cos\varphi_k = I_k \cdot \left(\frac{\cos\varphi_{ks}}{I_{ks}} + \frac{\cos\varphi_{kc}}{I_{kc}} \right)$$

i_k



Lunghezza m x 100 in metri



$$i = I_{ksorg} / I_{kcavo 1}$$

$$I_k = i_k I_{kcavo m=1}$$

$I_{kcavo 1 (100m)}$

Grazie per l'attenzione