



Rilevatore di presenza/assenza di tensione per linee ferroviarie tradizionali

Voltage presence/absence Detector for traditional railway lines

Dott. Ing. Sandro MUCCIFUORI()*

1. Introduzione

Il lavoro presentato, nasce dalla necessità di garantire maggior sicurezza agli operatori di un cantiere TE.

L'oggetto in questione si presenta come supporto ai dispositivi di corto circuito, durante particolari lavorazioni sugli impianti ferroviari, rilevando la presenza di tensione sulla linea di contatto o confermandone l'assenza.

Le normative vigenti richiedono l'utilizzo di dispositivi che consentano agli operatori la verifica di una corretta disalimentazione della linea di alimentazione su cui si accingono ad operare.

Nell'ambito delle linee di alimentazione in tensione alternata ci si può avvalere di una dettagliata serie di norme e procedure; nell'ambito delle linee di alimentazione in tensione continua non ci sono norme o procedure che descrivano un panorama chiaro. La norma CEI EN 61243 tratta dei rilevatori di tensione portatili di tipo resistivo o capacitivo, con o senza alimentazione incorporata, utilizzati a contatto con l'elemento da provare, su reti elettriche con tensione alternata. Lo strumento realizzato è un dispositivo elettronico capace di rilevare il campo elettrostatico, generato dalla linea di contatto alimentata a 3000Vcc, ad una distanza di circa metri 1 dalla fonte del campo.

2. Analisi

Verrà proposto un lavoro di simulazione e sintesi di un sistema costruito su delle considerazioni di elettrostatica, sul concetto di parametri per unità di lunghezza e di potenziale. Il dispositivo realizza un sensore basato sul principio di induzione elettrostatico. Visto che siamo in presenza di un campo elettrostatico, per ottenere un segnale elaborabile è necessario che il dispositivo rilevi una variazione dell'intensità del campo elettrico in cui è immerso. Durante una prima fase è stato eseguito uno studio del campo elettrico generato da una linea aerea

1. Introduction

The study here introduced and described originates from the growing necessities to improve safety measures levels on workplaces for TE railway technicians.

By the present rules, workers can only use devices checking the correct procedure of removing power supply from electrical lines where they operate.

While in the field of AC/DC supply lines there is a detailed body of legislation and which referring to, in DC supply there are no clear regulations to follow.

CEI EN 61243 rule deals with portable resistive or capacitive supply detector, with or without inner supply, connected to the element under test on AC/DC electrical networks.

The object of this study aims not only to provide a support to short circuit devices during the above mentioned work procedures on railway installations, but also a device able to detect the voltage presence or absence in an electrostatic field, generated by a 3000Vcc supplied contact line, from a distance of about 1 meter at least.

2. Analysis

This design shows a simulation and synthesis study of a system based on electrostatics considerations and length and power parameters. First, we realized a study of the electrical field generated by a high voltage air line, similar to a railway supply line, from the electromagnetic compatibility point of view. Then, a model of a prototype has been developed and tested on a traditional railway line afterwards.

The device here described develops a sensor based on the electrostatic induction principle. In presence of an electrostatic field, where it is situated, and in order to obtain an elaborating signal, it has to detect the variation of the electrical field intensity.

(*) RFI, Unità Territoriale Firenze Sud.

(*) RFI, Firenze.

ad alta tensione, come può essere una linea di alimentazione ferroviaria, dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica. Poi è stato sviluppato un modello approssimato che ci ha consentito la realizzazione di un prototipo, in seguito testato su una linea ferroviaria tradizionale.

2.1. Nozioni preliminari

Le linee aeree della trazione elettrica interferiscono con i circuiti circostanti, specialmente se disposti parallelamente per induzione elettrostatica ed elettromagnetica.

2.1.1. Induzione elettrostatica

L'induzione elettrostatica dipende dal valore della tensione di linea e non dalla frequenza ed agisce sia in c.c. che in c.a.. Nella fig. 1 è indicata con A la traccia ideale, nel piano verticale trasversale, della linea di contatto a potenziale U_L rispetto al binario, con B la traccia di un conduttore estraneo supposto isolato e parallelo alla linea. Per effetto dell'accoppiamento capacitivo fra i conduttori e rispetto al terreno, secondo la fig. 1, si può determinare il potenziale U_S del conduttore B. Considerando che la carica Q accumulata nel tratto di parallelismo di lunghezza S è data da:

$$Q = C_1 \cdot (U_L - U_S) = C_2 \cdot U_S$$

da cui

$$U_S = U_L \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

C_1 : capacità tra linea di contatto e conduttore nel tratto S;

C_2 : capacità tra conduttore e terra nel tratto S.

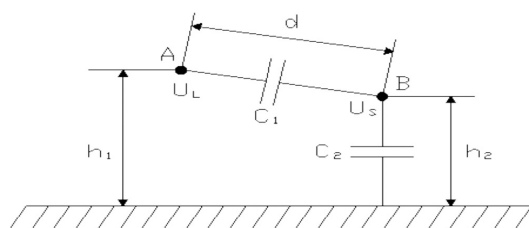


Fig. 1 - Induzione elettrostatica della linea di contatto su un conduttore parallelo. *Electrostatic Induction of the contact line on a parallel conductor.*

Tenuto conto che $C_1 \ll C_2$, e $d \gg h_2$, la relazione precedente si può così semplificare:

$$\frac{U_S}{U_L} = \frac{C_1}{C_2}$$

Il potenziale indotto U_S si riduce con l'aumentare della distanza d , il rapporto U_S/U_L passa dal 5% per $d=10m$,

2.1. Introductory remarks

Because of the electrostatic and electromagnetic induction, electric traction air lines interfere with the surrounding circuits, especially when disposed in parallel.

2.1.1. Electrostatic induction

Electrostatic induction does not depend on the frequency but on the value of the line voltage and acts on both AC/DC and DC conditions. In fig. 1, A indicates the ideal track of the U_L potential contact line, on the vertical transversal plane as to the binary; B indicates the track of an external conductor assumed isolated and parallel to the line. Because of the capacitive coupling and in relation to the ground, Pic. 1 shows how to define the U_S potential of conductor B.

Considering that the Q charge accumulated on parallelism track S is given by:

$$Q = C_1 \cdot (U_L - U_S) = C_2 \cdot U_S$$

where

$$U_S = U_L \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

- C_1 : capacitance between contact line and conductor in track S;

- C_2 : capacitance between conductor and ground in track S.

Assumed that $C_1 \ll C_2$, and $d \gg h_2$, the previous relation can be simplified as shown below:

$$\frac{U_S}{U_L} = \frac{C_1}{C_2}$$

The induced potential U_S reduces while the distance d increases, the ratio U_S/U_L decreases from 5% per $d=10m$ to less than 1% per $d>30m$ in DC at 3kVcc. Considering the max value $U_{Lmax}=4kVcc$ it is possible to have U_S values not particularly dangerous, since the effects on a person accidentally touching the conductor are limited to the discharge of Q accumulated in parallelism track S ($Q = C_2 \cdot U_S$).

2.1.2. Electromagnetic induction

The e.m.f. induced are proportional to the current variation, so, in static conditions, they are not present on 3kVcc supply lines, unless a line voltage ripple occurs.

In our case, the measurement must be exclusively of electrostatic field, seen that it is realised in absence of electrical charge on voltage lines without electrical current.

2.2. Preliminary Study

According to the concepts previously explained, we have to consider the capacitances existing on the line in order to detect the presence of a DC supply at 3000Vcc on

a meno dell'1% per $d > 30m$ in corrente continua a 3kVcc. Considerando il valore massimo $U_{L\max} = 4kVcc$ si hanno valori di U_s ritenuti non pericolosi, in quanto gli effetti nocivi su una persona, che venga accidentalmente a contatto con il conduttore, si limitano alla scarica della quantità Q accumulata nel tratto di parallelismo S ($Q = C_2 \cdot S \cdot U_s$).

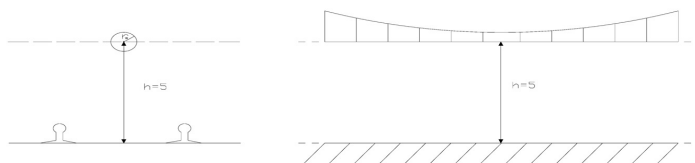


Fig. 2 - Catenaria semplificata di una linea ferroviaria. *Simplified catenary of a railway line.*

2.1.2. Induzione elettromagnetica

Le f.e.m. indotte sono proporzionali alla variazione di corrente, per cui in condizioni statiche, non sono presenti su linee alimentate a 3kVcc se non dovute al ripple della tensione di linea. Nel nostro caso il rilievo deve essere esclusivamente di campo elettrostatico, visto che viene effettuato, in assenza di carico, su linee in tensione, senza corrente elettrica.

2.2. Studio preliminare

Sulla base dei concetti precedentemente illustrati per rilevare la presenza di una alimentazione continua a 3000Vcc, su una catenaria di sezione 320 mm², dobbiamo tenere in considerazione le capacità che si instaurano lungo la linea. Considerando una catenaria sospesa sopra un binario (massa) ed ipotizzando di effettuare la misura del potenziale nelle immediate vicinanze dei fili, possiamo considerare solo il contributo al campo elettrico complessivo dei fili e non considerare quello degli altri elementi, che compongono la catenaria escludendo così: fune, pendini e tutti gli altri elementi in tensione (fig. 2). Come primo passo viene calcolata, ipotizzando che il punto di misura sia sufficientemente vicino ai fili, la capacità complessiva per unità di lunghezza tra la linea di contatto e il binario, che sarà:

$$c = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(2h/r_w)} = \frac{5,56 \cdot 10^{-11}}{6,812} = 8,162 \cdot 10^{-12} \text{ (in F/m)} \quad r_w = 11\text{mm}, h=5\text{m},$$

con:

- r_w = somma dei raggi dei due fili della catenaria;
- h = distanza tra la linea di contatto e terra riferita al centro del conduttore.

La linea è dotata di una coppia di fili, ciascuno con una sezione di circa 100mm².

In questa analisi semplificata verrà considerata una sezione complessiva di 100mm² (come se fosse presente un singolo filo). Inserendo ad una determinata altezza, tra la linea di contatto e il binario, una bacchetta equipotenziale (fig. 3) supposta isolata in parallelo alla linea, di lunghezza 1 m, che sarà utilizzata come terminale del nostro sensore, si calcolano le capacità che si vengono a creare tra la linea di contatto e la bacchetta equipotenziale (C1) e tra questa ultima e massa (C2).

a catenary of section 320 mm². Measuring the potential in the immediate vicinity of wires, considering a suspended catenary over a track (ground), we only take into account the wires contribution to the electrical field, ignoring contributions of other elements, such as: rope, hangers, and all other elements subjected to a certain voltage (fig. 2).

Assuming that the point of measurement is near enough the wires, we first calculate the total capacitance per unit length, that will result as:

$$c = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(2h/r_w)} = \frac{5,56 \cdot 10^{-11}}{6,812} = 8,162 \cdot 10^{-12} \text{ (in F/m)} \quad r_w = 11\text{mm}, h=5\text{m},$$

where:

- r_w = sum of the two wires rays of catenary;
- h = distance between contact line and ground, referred to the conductor centre.

The line consists in a couple of wires, with a section of about 100mm² each.

In this simplified analysis, a single section of 100mm² is considered (as if consisting in only one wire). If inserting a 1 meter long equipotential rod at a certain height, assumed insulated, and in parallel between the contact line and the track, used as the terminal of our sensor, it is possible to calculate capacitances originating between the contact line (fig. 3) and the equipotential rod (C1) and the rod and ground (C2).

$$c_1 = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln(s_1/r_1)} = 9,585 \cdot 10^{-12} \text{ (s}_1 = 10\text{cm}, r_1 = 5,5\text{mm, in F/m)}; \quad s \geq r_w$$

where:

- $r_1 = r_w$ where r_1 is the wire section ray (rod) and r_w is the conductor ray;
- S_1 distance referred to the centre of conductors;
- S_2 distance referred to the centre of the wire section (rod).

Below, a table 1 with the calculation of C1 obtained by a simulator (an SW Matlab) using the above described relations and a graph (fig. 4) to get a first quantitative evaluation of the capacitance behaviour:

$$c_2 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(2 \cdot s_2/r_2)} = 8,073 \cdot 10^{-12} \text{ (s}_2 = 4,9\text{m}, r_2 = 10\text{mm, in F/m)}$$

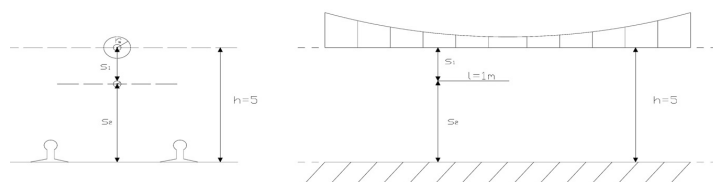


Fig. 3 - Bacchetta equipotenziale interposta tra la catenaria e massa. Equipotential rod interposed between catenary and ground.

$$c_1 = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(s_1/r_1)} = 9,585 \cdot 10^{-12} \quad (s_1 = 10 \text{ cm}, r_1 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m); \quad s \geq r_w$$

con:

- $r_1 = r_w$ dove r_1 è il raggio del tronco di filo (bacchetta) e r_w è il raggio del conduttore;
- S_1 distanza riferita al centro dei conduttori;
- S_2 distanza riferita al centro del tronco di filo (bacchetta).

Utilizzando le relazioni sopra menzionate, viene riportata la tabella 1 relativa al calcolo di C_1 ottenuta al simulatore (in questo caso è stato utilizzato il SW matlab) e la fig. 4 per riuscire ad ottenere una prima valutazione quantitativa del comportamento di questa capacità.

where:

- $r_2 = r_1$ where r_2 is the wire section ray inserted between the contact line and ground.

The table 2 and graph (fig. 4) below (obtained by Matlab), show the calculation of C_2 capacitance, and its behaviour related to the distance:

V_1 indicates the potential difference between the equipotential rod and ground:

$$V_1 = \frac{1/c_2}{1/c_1 + 1/c_2} \cdot V$$

The table 3 and fig. 5 shows values of the potential obtained considering different distances of the equipotential rod from the contact line and with V up to 3 kVcc.

Such system needs a ground reference. To get round this problem, the difference of potential will be calculated between two equipotential rods at a definite distance (fig. 6), and not between rod and ground.

Preliminary analysis:

$$c_1 = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(s_1/r_1)} = 9,585 \cdot 10^{-12} \quad (s_1 = 10 \text{ cm}, r_1 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

$$c_2 = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(s_2/r_2)} = 9,585 \cdot 10^{-12} \quad (s_2 = 10 \text{ cm}, r_2 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

TABELLA 1 – TABLE 1

C_1 1.0e-011	$S_1=0,1$	$S_1=0,2$	$S_1=0,3$	$S_1=0,4$	$S_1=0,5$	$S_1=0,6$	$S_1=0,7$	$S_1=0,8$	$S_1=0,9$	$S_1=1$
$r_1=0,001$	0.603	0.524	0.487	0.464	0.447	0.434	0.424	0.415	0.408	0.402
$r_1=0,0025$	0.753	0.634	0.580	0.547	0.524	0.507	0.493	0.482	0.472	0.464
$r_1=0,0055$	0.958	0.773	0.695	0.648	0.616	0.592	0.573	0.558	0.545	0.534
$r_1=0,01$	1.207	0.928	0.817	0.754	0.711	0.679	0.654	0.634	0.618	0.604
$r_1=0,015$	1.465	1.073	0.928	0.847	0.793	0.754	0.723	0.699	0.679	0.662
$r_1=0,02$	1.727	1.207	1.027	0.928	0.864	0.817	0.782	0.754	0.730	0.711

$$c_2 = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(2 \cdot s_2/r_2)} = 8,073 \cdot 10^{-12} \quad (s_2 = 4,9 \text{ m}, r_2 = 10 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

con:

$r_2 = r_1$ dove r_2 è il raggio del tronco di filo inserito tra la linea di contatto e terra.

Anche per il calcolo della capacità C_2 riportiamo la tabella 2 che mostra l'andamento della capacità, in funzione della distanza, ed il grafico corrispondente ottenuti con matlab.

$$c_3 = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(2 \cdot s_3/r_3)} = 7,438 \cdot 10^{-12} \quad (s_3 = 4,80 \text{ m}, r_3 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

$$V_1 = \frac{1/c_2 + 1/c_3}{1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3} \cdot V; V_2 = \frac{1/c_3}{1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3} \cdot V; \Delta V = V_1 - V_2$$

Where V_1 is the potential between the first rod and ground, V_2 between the second rod and ground and ΔV the difference of the potential between V_1 and V_2 .

Considering this second solution, it is possible to

TABELLA 2 – TABLE 2

C_2 1.0e-011	$S_2=4,9$	$S_2=4,8$	$S_2=4,7$	$S_2=4,6$	$S_2=4,5$	$S_2=4,4$	$S_2=4,3$	$S_2=4,2$	$S_2=4,1$	$S_2=4$
$r_2=0,001$	0.6050	0.6064	0.6078	0.6092	0.6107	0.6122	0.6138	0.6154	0.6170	0.6187
$r_2=0,0025$	0.6720	0.6737	0.6754	0.6772	0.6790	0.6809	0.6828	0.6848	0.6868	0.6889
$r_2=0,0055$	0.7428	0.7449	0.7470	0.7491	0.7514	0.7537	0.7560	0.7584	0.7609	0.7635
$r_2=0,01$	0.8073	0.8097	0.8122	0.8148	0.8174	0.8201	0.8229	0.8258	0.8287	0.8318
$r_2=0,015$	0.8578	0.8605	0.8633	0.8662	0.8692	0.8723	0.8754	0.8787	0.8821	0.8855
$r_2=0,02$	0.8976	0.9006	0.9037	0.9069	0.9101	0.9135	0.9170	0.9205	0.9242	0.9280

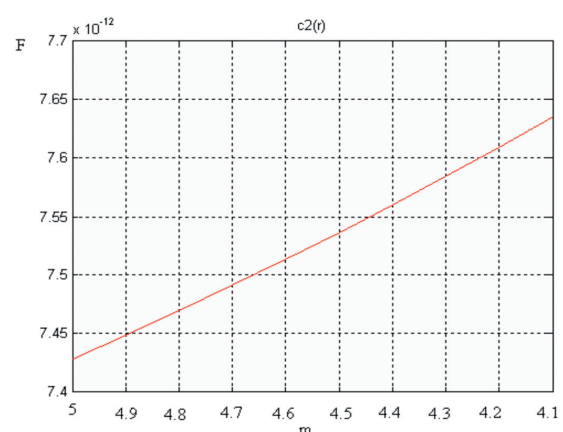
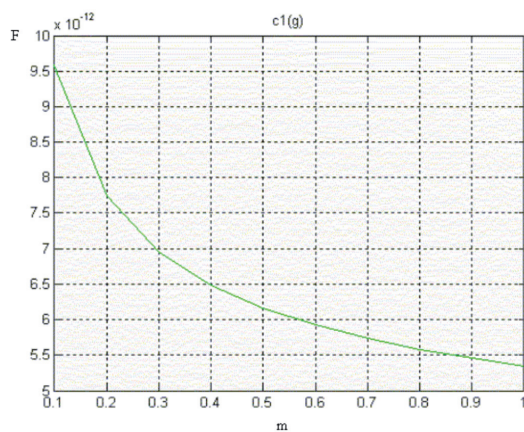


Fig. 4 – Andamento delle capacità C_1 , rispetto alla variazione della distanza tra bacchetta e conduttore (S_1) con $r_1=0,0055$ m, e della capacità C_2 rispetto alla variazione della distanza tra bacchetta e terra (S_2) con $r_1=0,0055$ m. Behaviour of C_1 related to the distance variation between rod and conductor (S_1) where $r_1=0,0055$ m, and C_2 , related to the distance variation between rod and ground (S_2) where $r_1=0,0055$ m.

Con V_1 indichiamo la differenza di potenziale tra la bacchetta equipotenziale e terra:

$$V_1 = \frac{1/c_2}{1/c_1 + 1/c_2} \cdot V$$

La tabella 3 e la fig. 5 indicano i valori del potenziale ottenuti analizzando il problema, come precedentemente descritto, considerando la bacchetta equipotenziale a varie distanze dalla linea di contatto e con V pari a 3 kVcc.

avoid working with a voltage referred to ground and focus directly to the difference between two potentials different from 0, that simplify the isolation of the instrument during the measurement and the treatment of the signal.

Below, a simplified scheme (fig. 7) of the model under examination is reported, with terminals situated near a contact line and capacitance behaviours with relative potential variations ΔV .

TABELLA 3 – TABLE 3

V_1 1.0e+003	$S_1=0,1$	$S_1=0,2$	$S_1=0,3$	$S_1=0,4$	$S_1=0,5$	$S_1=0,6$	$S_1=0,7$	$S_1=0,8$	$S_1=0,9$	$S_1=1$
$r=0,001$	14.984	13.917	13.352	12.971	12.684	12.455	12.264	12.099	11.954	11.824
$r=0,0025$	15.859	14.550	13.869	13.415	13.077	12.808	12.584	12.392	12.224	12.074
$r=0,0055$	16.902	15.284	14.462	13.920	13.521	13.204	12.943	12.720	12.525	12.351
$r=0,01$	17.979	16.021	15.048	14.416	13.952	13.588	13.289	13.035	12.813	12.616
$r=0,015$	18.923	16.650	15.542	14.829	14.311	13.906	13.574	13.293	13.049	12.833
$r=0,02$	19.741	17.183	15.955	15.173	14.607	14.167	13.808	13.505	13.242	13.010

Con un sistema di questo tipo è necessario un riferimento di terra. Per ovviare a questo, verrà calcolata la differenza di potenziale non tra la bacchetta equipotenziale e terra ma tra due bacchette, aventi una distanza tra loro ben definita (fig. 6).

Analisi preliminare:

$$c_1 = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(s_1/r_1)} = 9,585 \cdot 10^{-12} \quad (s_1 = 10 \text{ cm}, r_1 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

$$c_2 = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(s_2/r_2)} = 9,585 \cdot 10^{-12} \quad (s_2 = 10 \text{ cm}, r_2 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

$$c_3 = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(2 \cdot s_3/r_3)} = 7,438 \cdot 10^{-12} \quad (s_3 = 4,80 \text{ m}, r_3 = 5,5 \text{ mm} \text{ in } F/m)$$

$$V_1 = \frac{1/c_1 + 1/c_2}{1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3} \cdot V; V_2 = \frac{1/c_3}{1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3} \cdot V; \Delta V = V_1 - V_2$$

dove V_1 è il potenziale tra la prima bacchetta e massa, V_2 è il potenziale tra la seconda bacchetta e massa e ΔV la differenza di potenziale tra V_1 e V_2 .

Prendendo in considerazione questa seconda soluzione, non dobbiamo più lavorare con una tensione riferita a terra, ma con una differenza tra due potenziali diversi da 0, che ci danno una grado di libertà in più per quanto riguarda l'isolamento dello strumento durante la misura e per il trattamento del segnale. Nella fig. 7 è indicato uno schema semplificato del modello in esame, con i terminali posizionati nella prossimità di una linea di contatto, e gli andamenti delle capacità con le relative variazioni del potenziale ΔV .

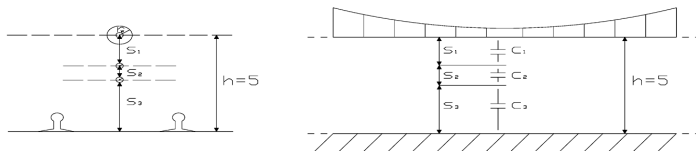


Fig. 6 - Due terminali equipotenziali posizionati nella prossimità di una catenaria. Two equipotential terminals near a catenary.

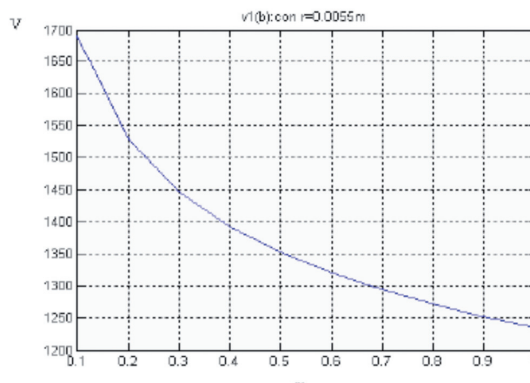


Fig. 5 - Differenza di potenziale tra bacchetta equipotenziale e terra. Difference of potential between equipotential rod and ground.

Tables of capacitance C_2 behaviour, related to the distance between the two rods $S_2=0,1$ m to the variation of r_2 ; of capacitance C_3 related to the variation of the distance

TABELLA 4 - TABLE 4

C_1 1.0e-011	$S_1=0,1$	$S_1=0,2$	$S_1=0,3$	$S_1=0,4$	$S_1=0,5$	$S_1=0,6$	$S_1=0,7$	$S_1=0,8$	$S_1=0,9$	$S_1=1$
$r_1=0,0025$	0.754	0.634	0.581	0.548	0.525	0.507	0.493	0.482	0.472	0.464
$r_1=0,0055$	0.959	0.774	0.695	0.649	0.617	0.593	0.574	0.558	0.545	0.534
$r_1=0,01$	1.207	0.928	0.817	0.754	0.711	0.679	0.654	0.634	0.618	0.604
$r_1=0,015$	1.465	1.073	0.928	0.847	0.793	0.754	0.723	0.699	0.679	0.662
$r_1=0,02$	1.727	1.207	1.027	0.928	0.864	0.817	0.782	0.754	0.730	0.711

Nelle tabelle 5, 6 e 7 è indicato l'andamento della capacità C_2 , rispetto alla distanza tra le due bacchette $S_2=0,1$ m al variare di r_2 , della capacità C_3 al variare della distanza tra la bacchetta a potenziale più basso e terra (S_3) e di r_3 , e della differenza di potenziale ΔV al variare della distanza tra la bacchetta a potenziale più alto ed il conduttore (S_1) e di r (dove $r = r_1 = r_2 = r_3$) mantenendo $S_2 = 0,1$ m.

There is clear evidence that the capacitance net showed in fig. 6 is quite simplified, in particular when carefully observing the terminals configuration used up to now. However, this analysis gives the opportunity to

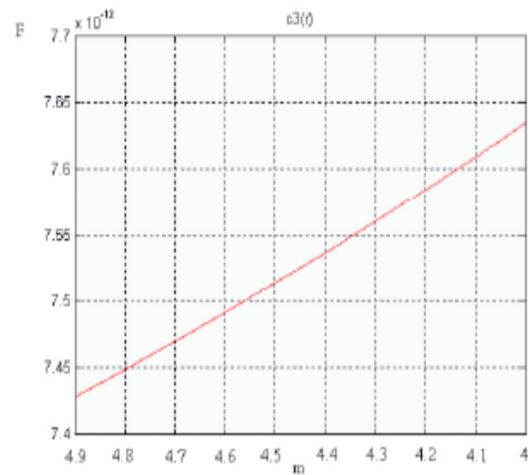
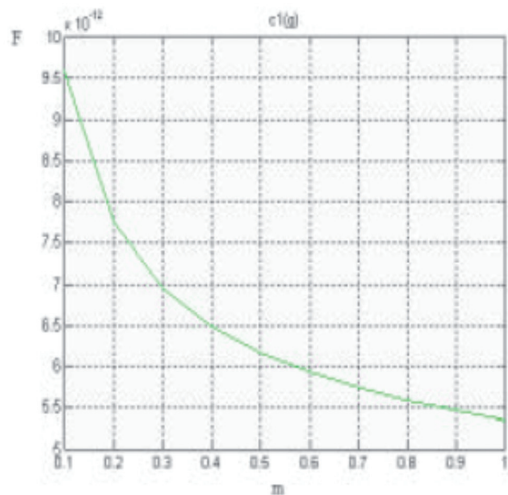


Fig. 7 - Andamento delle capacità C_1 , rispetto alla distanza tra bacchetta e conduttore (S_1) con $r_1=0,0055$ m, e della capacità C_3 rispetto alla distanza tra bacchetta e terra (S_3) con $r_3=0,0055$ m. Behaviour of capacitance C_1 , related to the distance variation between rod and conductor (S_1) where $r_1=0,0055$ m, and C_3 related to the distance variation between rod and ground (S_3) where $r_3=0,0055$ m.

TABELLA 5 – TABLE 5

C_2	$S_2=0,1$
$1.0e-011$	
$r_2=0,0025$	0.7537
$r_2=0,0055$	0.9585
$r_2=0,01$	1.207
$r_2=0,015$	1.465
$r_2=0,02$	1.727

have a first quantitative and qualitative evaluation of values under examination.

Actually, two more capacitances should be considered (C_4 e C_5), situated respectively between the higher potential rod and ground, and between the lower potential rod and the contact line, as shown in fig. 9.

Fig. 9 points out how the terminals inserted between the contact line and the track realize a capacitive measure bridge. Such configuration facilitates the comprehension of the bridge functioning. When the two bridge branches are

TABELLA 6 – TABLE 6

C_3	$S_3=4,8$	$S_3=4,7$	$S_3=4,6$	$S_3=4,5$	$S_3=4,4$	$S_3=4,3$	$S_3=4,2$	$S_3=4,1$	$S_3=4,0$	$S_3=3,9$
$1.0e-011$										
$r_3=0,0025$	0.672	0.674	0.675	0.677	0.679	0.681	0.683	0.685	0.687	0.680
$r_3=0,0055$	0.743	0.745	0.747	0.749	0.751	0.754	0.756	0.758	0.761	0.760
$r_3=0,01$	0.807	0.810	0.812	0.815	0.817	0.820	0.823	0.826	0.829	0.827
$r_3=0,015$	0.858	0.861	0.863	0.866	0.869	0.872	0.875	0.879	0.882	0.880
$r_3=0,02$	0.897	0.901	0.904	0.907	0.910	0.914	0.917	0.921	0.924	0.920

TABELLA 7 – TABLE 7

deltaV	$S_1=0,1$	$S_1=0,2$	$S_1=0,3$	$S_1=0,4$	$S_1=0,5$	$S_1=0,6$	$S_1=0,7$	$S_1=0,8$	$S_1=0,9$	$S_1=1$
$r=0,0025$	940.195	907.352	879.31	860.294	846.563	836.629	826.34	819.624	812.5	807.223
$r=0,0055$	918.133	851.661	819.754	799.029	777.198	772.402	787.17	754.157	747.313	741.253
$r=0,01$	858.921	787.057	757.548	735.346	719.375	706.485	696.188	685.998	680.921	673.901
$r=0,015$	810.297	737.829	702.158	678.832	661.685	649.318	638.776	630.119	623.021	615.893
$r=0,02$	765.873	691.206	654.237	630.489	613.78	600.414	590.013	581.52	573.835	567.091

L'analisi svolta consente una valutazione qualitativa e quantitativa delle grandezze da elaborare. Osservando attentamente la configurazione dei terminali utilizzata fino ad ora si nota, che la rete di capacità realizzata in figura 6 è una rete semplificata. In realtà vanno considerate due capacità in più (C_4 e C_5), che sono rispettivamente una capacità tra la bacchetta a potenziale più alto e terra e tra la bacchetta a potenziale più basso e la linea di contatto, come è mostrato in fig. 9.

La fig. 8 evidenzia che i terminali inseriti tra la linea di contatto e il binario formano un ponte di misura capacitivo. Con una configurazione del genere è intuitivo capire il funzionamento del ponte. Quando i due rami del ponte capacitivo sono equilibrati V_1 è pari a V_2 e si presenterà all'ingresso del dispositivo una tensione pari a 0V, quando il ponte viene sbilanciato, in particolare quando V_1 è maggiore di V_2 si applicherà all'ingresso del rilevatore una differenza di potenziale che se sufficientemente elevata ecciterà il sistema. Quindi per completezza, di seguito vengono mostrati gli andamenti delle due capacità aggiuntive e le differenze dei potenziali che esse modificano.

Come è evidente dai grafici di fig. 9, considerando le capacità C_4 e C_5 , i potenziali che si instaurano tra le bacchette si avvicinano notevolmente rispetto ai valori assunti nella simulazione precedente. In particolare la bacchetta a potenziale più basso aumenta considerevolmente il suo valore. Questo comporta, a parità di campo elettrostatico applicato, una diminuzione della differenza di potenziale disponibile in ingresso del sistema. Considerando il ponte capacitivo riusciamo ad avere una rappresentazione più esatta dell'intensità del campo elettrico da rilevare.

I dati appena illustrati sono riferiti alle simulazioni eseguite, non considerando il modello realizzato per le prove in laboratorio, ma utilizzando i valori relativi ad una catenaria tradizionale 320 mm² e due bacchette equipotenziale di sezione 50 mm².

3. Sintesi del sistema e prove di laboratorio

Il calcolo dei parametri per unità di lunghezza precedentemente svolto rappresenta l'andamento delle capacità e del potenziale presenti lungo una linea di alimentazione in corrente continua a 3kVcc, rispetto ad un piano di massa (terra) e rispetto a dei conduttori estranei supporti isolati e paralleli alla linea.

Da questa analisi è derivata la realizzazione di un circuito elettronico capace di acquisire ed elaborare il segnale che si presenta tra due bacchette equipotenziali immerse nel campo elettrostatico generato da una linea di contatto ad una determinata distanza da questa.

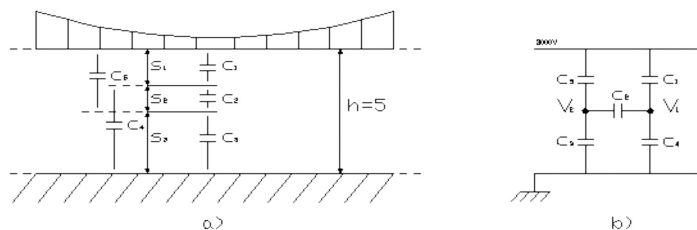


Fig. 8 - Capacità presenti tra i terminali del rilevatore e una linea ferroviaria tradizionale. Capacitances between detector terminals and a traditional railway line.

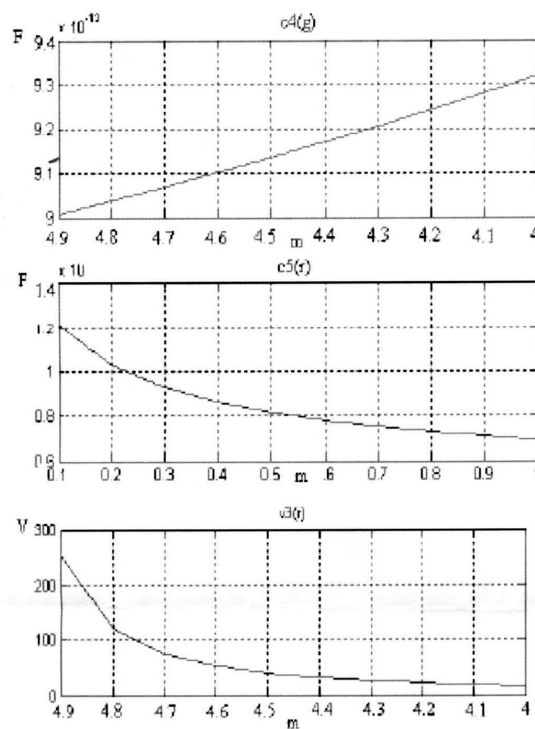


Fig. 9 - Andamento delle capacità C_4 , rispetto alla variazione della distanza tra bacchetta a potenziale più alto e terra ($S_2 + S_3$) con $r_4=0,0055$ m, della capacità C_5 , rispetto alla variazione della distanza tra bacchetta a potenziale più basso ed il conduttore ($S_2 + S_1$) con $r_5=0,0055$ m, e della differenza di potenziale ΔV (ripportata in figura come V_3) considerando i contributi delle capacità C_4 e C_5 . Behaviour of capacitance C_4 , related to the variation of the distance between higher potential rod and ground ($S_2 + S_3$) where $r_4=0,0055$ m; of capacitance C_5 , related to the variation of the distance between lower potential rod and conductor ($S_2 + S_1$) where $r_5=0,0055$ m; and the potential difference ΔV (indicated as V_3 in Fig. 10), considering contributions of capacitances C_4 and C_5 .

balanced, V_1 equals V_2 and the voltage at the device input will be 0V; if the bridge is unbalanced, in particular when V_1

Per ottenere un dispositivo effettivamente utilizzabile è seguito un processo di sintesi atto ad ottenere, un adeguato grado di efficienza con il minimo ingombro possibile.

Questo processo si è focalizzato sulla miniaturizzazione delle bacchette equipotenziali e del circuito elettronico. Durante questa fase si è passati da due bacchette di lunghezza 1 metro e sezione 50 mm² distanti tra loro 300 mm a due placche larghe 30 mm lunghe 50 mm e spesse 1 mm distanti tra loro 20 mm. La sintesi delle bacchette equipotenziali e del circuito elettronico è stata eseguita utilizzando un modello approssimato dell'ambiente di lavoro del dispositivo avvalendosi, come dati di partenza, dei parametri per unità di lunghezza precedentemente calcolati.

Da questo processo sono conseguite modifiche alla maglia di ingresso e alle tarature delle sensibilità del circuito di rilevazione.

is higher than V_2 , a potential difference is applied at the detector input that will excite the system if high enough.

So, for more detailed information, the graphs below show the behaviours of the two added capacitances and the potential variations they modify.

As fig. 9 shows, and considering capacitances C_4 and C_5 , the potential values between the rods are very similar to those of the simulation previously illustrated. In particular, the lower potential rod remarkably increases its value. If a same electrostatic field is applied, this implies a decrease in the potential difference available at the system input. Thanks to the capacitive bridge, it is possible to get a very precise and exact representation of the electrical field intensity to detect.

All data above illustrated are referred to simulations obtained by using values of a traditional catenary 320 mm² and two equipotential rods of section 50 mm², not considering the model realized for the laboratory tests.

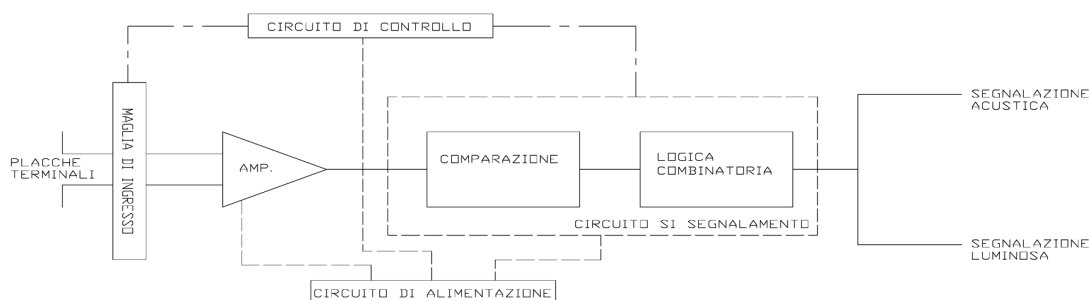


Fig. 10 - Circuito base del detector. *Base detector circuit.*

3.1. Prove di laboratorio

Dopo aver implementato il rilevatore in tutte le sue parti, si passa alla fase di test. Per eseguire questa fase è stata realizzata una gabbia di Faraday, questo per effettuare delle misure in un ambiente schermato. Per semplicità e per avere un riscontro oggettivo, rispetto alle fasi di calcolo e di simulazione, è stata costruita una gabbia Faraday con una forma cilindrica. La gabbia è stata realizzata con una rete metallica elettrosaldada, su un supporto in legno (fig. 11). Considerando che nel calcolo delle capacità associate alla linea di contatto vengono valutati solo i fili, il modello in scala prevedrà un solo filo sospeso, di sezione 50 mm², con una tensione applicata da 50 a 1000V. Visto che si lavora con dei parametri per unità di lunghezza il volume cilindrico dell'ambiente di misura avrà diametro un metro e lunghezza un metro.

Come si vede in fig. 11 al centro del cilindro è stato posizionato un filo di rame (che rappresenta la linea di contatto), dove sarà applicata una tensione continua. Per ottenere una tensione di qualche centinaio di volt fino ad

3. System diagram and laboratory tests

The calculation of per unit length parameters, previously reported, represents the capacitances and the potential behaviour along a supply line in DC at 3kVcc, referred to ground and external conductors assumed insulated and in parallel to the line.

This analysis is at the basis of the realization of an electronic circuit, able to gather and operate the signal existing between two equipotential rods inserted in the electrostatic field produced and around a contact line.

In order to obtain a space-saving device with the most effective performance, it is necessary to develop a synthesis process of the system focused on the miniaturization of equipotential rods and electronic circuit.

During this phase, the two 1-meter 50 mm² diameter rods, at a distance of 300 mm each other, are substituted by two plates with dimensions: 30 mm width, 50 mm length, 1 mm thickness, and positioned at a distance of 20 mm each other. Such synthesis has been developed inside



Fig. 11 - Gabbia di Faraday, utilizzata come schermo per lo studio del rilevatore. *Faraday cage, used as shield for the detector study.*

un massimo di 1000V è stato realizzato un moltiplicatore di tensione a 5 celle.

3.2. Misure di laboratorio

Collegando il terminale positivo del moltiplicatore al conduttore, posizionato al centro della gabbia di Faraday, ed il terminale negativo alla rete metallica esterna, si realizza il modello semplificato del nostro ambiente di misura. Alimentando il moltiplicatore con un trasformatore a più prese sull'avvolgimento secondario riusciamo a realizzare un numero maggiore di prove con diverse tensioni applicate alla gabbia. Durante le prime misure sono state utilizzati due supporti isolanti, in PVC, per distanziare e posizionare in maniera efficiente le bacchette equipotenziali e il circuito. Su questi supporti, composti da due astine in PVC di lunghezza 400 mm, sono stati effettuati dei fori a distanza di 50 mm l'uno dall'altro. Questo per riuscire ad effettuare delle misure con delle distanze differenti tra le bacchette e tra queste e la linea alimentata. Per non avere dei vincoli o dei punti di contatto con le strutture circostanti anche il circuito è stato fissato al supporto isolante così da rendere il rilevatore indipendente. Le prove si compongono nella collocazione del rilevatore al centro della gabbia, in particolare appendendolo al conduttore centrale (fig. 11), valutando la risposta del dispositivo a seguito di una alimentazione del tronco di linea.

La tabella 7 permette la valutazione della risposta del rilevatore in funzione della tensione applicata al conduttore e alla posizione di due bacchette equipotenziali di forma cilindrica. Si può notare che con le bacchette di lunghezza 250 mm e sezione 50 mm², poste a 50 mm l'una dall'altra e a 100 mm dal conduttore in tensione, il rilevatore risponde al campo applicato all'ambiente schermato con l'accensione di un diodo LED già con 250Vcc applicati sul tronco di linea in tensione. Un effetto inatteso è dato dal fatto che dopo un lasso di tempo determinato il dispositivo cessa la segnalazione, anche se il campo elettrostatico rimane invariato, falsando la misura o co-

an ideal model of the device working environment, using values resulting from the previously calculated per unit length parameters and generated consequent variations of the input grid and of the sensors setting of the detector circuit.

3.1. Laboratory tests

After the detector implementation, it is possible to start the laboratory tests phase. Concerning this, a Faraday cage has been built in order to perform measurements in a shielded environment. The cage consists in a metallic electrosoldered net on a wooden support (fig. 11) and the choice of a cylindrical shape of the cage simplifies the obtainment of an objective result from the simulation and calculation phases. Assuming that in the calculation of the contact line capacitances only the wires are considered, the scale-model provides only one suspended wire of section 50 mm², with an applied voltage of 50 to 1000V. Working with per unit length parameters, the test environment will have a cylindrical volume measuring 1 meter diameter and 1 meter length.

As shown in fig. 11, a copper wire (representing the contact line) is situated in the centre of the cylinder, where a DC voltage will be applied. The realization of a 5 cells voltage multiplier allows the achievement of a voltage range starting from some hundreds volt up to 1000V.

3.2. Laboratory measurements

Our test environment simplified model is realized connecting the positive multiplier terminal to the conductor, situated at the centre of the Faraday cage, and the negative terminal to the external metallic net. Supplying the multiplier by a multiple jack transformer on the secondary winding, it is possible to perform a number of tests with different voltages applied to the cage.

In order to best space and arrange the equipotential

munque non mantenendo l'informazione. In più è stata verificata una eccessiva sensibilità del rilevatore, che subiva delle perturbazioni dovute alla presenza di elementi in movimento intorno a se.

Questo è stato risolto realizzando un partitore capacitivo in ingresso e ponendo particolare attenzione nel dimensionamento delle connessioni tra la maglia in ingresso e le bacchette per la rilevazione del campo.

Il motivo per il quale il rilevatore dopo qualche secondo ritornava nello stato iniziale è che, dopo questo lasso di tempo, le bacchette equipotenziali si portavano allo stesso potenziale. Questo perché nel circuito di ingresso ci sono dei problemi di perdita, dovuti a caratteristiche fisiche del circuito e da una impedenza di ingresso non infinita.

3.3. Rilevatore

Il dispositivo si basa sulla realizzazione di un elettroscopio elettronico, e si compone di due placche terminali, per la captazione del campo elettrico, due circuiti principali, più dei circuiti supplementari.

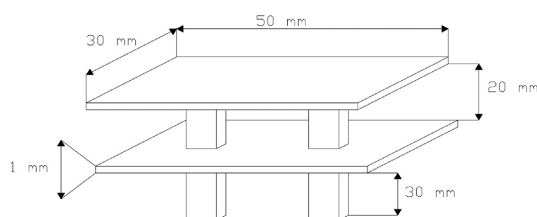


Fig. 12 - Placche terminali utilizzate per la captazione del campo realizzate in rame. *Terminal copper plates used for the field detection.*

Lo schema di principio di figura 12 evidenzia:

- in ingresso un circuito di rilevazione atto a percepire la presenza o l'assenza del campo elettrico generato dalla linea di contatto, composto da una maglia di ingresso e un amplificatore operativo con alta impedenza di ingresso;
- un secondo stadio, che realizza il circuito di segnalazione atto a fornire correttamente le informazioni precedentemente acquisite ed opportunamente elaborate;
- un circuito di autotest che realizza quegli accorgimenti tecnici per garantire la sicurezza del dispositivo. Questo elemento testa, attraverso un segnale di prova, ogni tre secondi il corretto funzionamento sia del circuito di rilevazione che di segnalamento;
- dei circuiti ausiliari, che permettono una corretta gestione del sistema, come una logica combinatoria per interfacciarsi con l'operatore, un controllo batteria per garantire il corretto funzionamento del sistema.

Detto rilevatore può essere utilizzato:

rods and the circuit, two insulated supports in PVC have been used during the first tests. On these supports, consisting in two 400 mm long PVC bars, several holes at 50 mm intervals have been realized. Also the circuit has been fixed on the insulated support, so that there is no interference with the surrounding structures and the detector remains independent. Tests are performed hanging the detector to the central conductor at the centre of the cage, (fig. 11, and the device response is evaluated after supplying the track section.

TABELLA 8 – TABLE 8

VALORI DI TENSIONE APPLICATI ALLA GABBIA PER I QUALI SI ECCITA IL RILEVATORE CONSIDERANDO S_1 LA DISTANZA TRA LA BACCHETTA A POTENZIALE PIÙ ALTO E IL CONDUTTORE ED S_2 LA DISTANZA TRA LE DUE BACCHETTE - VOLTAGE VALUES APPLIED TO THE CAGE EXCITING THE DETECTOR, WHERE S_1 IS THE DISTANCE BETWEEN THE HIGHER POTENTIAL ROD AND THE CONDUCTOR AND S_2 IS THE DISTANCE BETWEEN THE TWO RODS

deltaV	$S_1=0,1$	$S_1=0,15$	$S_1=0,2$	$S_1=0,25$	$S_1=0,30$
$S_2=0,05$	250	330	420	510	566
$S_2=0,1$	300	390	450	540	600

The table let us evaluate the detector response related to the voltage applied to the conductor and to the position of the cylindrical equipotential rods. It is worth noting that a diode LED glowing at 250Vcc voltage applied to the track section indicates the prompt detector response to the field applied to the shielded environment, always considering the presence of 250 mm-length 50 mm²-section rods, placed at 50- mm intervals and at 100 mm from the voltage conductor. However, after a fixed lapse of time, the device unexpectedly stops responding, even without particular variations of the electrostatic field, distorting the measure and losing data. Moreover, the detector results too sensitive to noise due to possible moving elements in the surroundings. This problem has been solved in realizing an input capacitive divider and drawing particular attention to the connections dimensioning between the input grid and the rods for the field detection.

The main cause of the detector response interruption depends on the equipotential rods that, after the above mentioned lapse of time, achieved the same potential value. This because the input circuit suffers some power leakages, due to circuit physical characteristics and to a non-infinite impedance.

3.3. Detector

The device is based on the realization of an electronic electroscope consisting in two terminal plates for the de-

- ◆ singolarmente, ponendo lo stesso in testa ad un fioretto isolante;
- ◆ in accoppiamento con il "Dispositivo di messa a terra e in cortocircuito per linee di contatto a 3 KVcc", ponendo lo stesso sulla pinza.
- ◆ singolarmente, ponendo lo stesso su una postazione fissa installata in linea o su carrello ferroviario.

Nei primi due casi il dispositivo viene impiegato per accertare la corretta tolta tensione, prima di eseguire un processo di manutenzione, su tutte le apparecchiature che lavorano in alta tensione continua.

Il terzo impiego nasce dall'esigenza di effettuare un controllo da remoto su un ente in tensione.

4. Collaudo

Verifica della presenza/assenza di tensione su linee di contatto a 3kV a corrente continua senza contatto dell'unità di rilevazione, mediante idoneo fioretto.

Funzionali - *Functional tests*

Segnalazioni: <i>Signals:</i>	Ottiche ed acustiche, attive sugli stati di "presenza di tensione" e di "pronto all'uso". <i>Light and sound signals, active on "voltage presence" and "ready to use" status.</i>
Auto diagnosi: <i>Self-check:</i>	Autotest di verifica ogni 3s con segnalazione ottica e luminosa. <i>Self-check each 3secs by sound and light signal.</i>
Comandi: <i>Commands:</i>	Pulsante di accensione, con spegnimento manuale. <i>Turning on switch, with manual turning off.</i>
Supply:	batteria a secco 9V <i>9V dry battery</i>
Autonomia: <i>Autonomy:</i>	> 200 cicli <i>> 200 cycles</i>

All'atto dell'accensione lo strumento effettua l'autotest, che interessa il circuito di rilevamento e di segnalamento, dando indicazioni con una segnalazione luminosa verde e una segnalazione acustica (stato di pronto all'uso).

Terminata questa verifica lo strumento è pronto all'uso e inizia ad eseguire l'autoverifica circuitale con un periodo di 3s.

Effettuato autotest, avvicinando il dispositivo ad una linea alimentata a 3kVcc questo sarà interessato dal campo elettrico.

Se non vi sono parti a terra interposte tra la testina del rilevatore e la linea in tensione e se la distanza è prossima a quella limite di segnalamento (circa 1m) si devono avere le seguenti indicazioni:

tection of the electrical field, two main and two auxiliary circuits.

The diagram in fig. 12 shows:

- an input circuit, to detect the presence or absence of the electrical field generated by the contact line, formed of an input grid and an input high impedance operational amplifier.
- A second stage amplifier, that realizes the signal circuit to correctly supply information previously acquired and elaborated.
- A self-checking circuit used to warranty the device safety. Using a test signal, this device verifies each 3 seconds the correct functioning of both detection and signal circuits.
- Auxiliary circuits, able to warranty a correct management of the system, operating as a combinatorial interface control logic, and a check of the battery in order to achieve the most correct functioning of the system.

Such detector can be used:

- ◆ Separately, on the top of a insulating stick;
- ◆ Coupled with a "Earthing device and shorted for the 3 KVcc contact lines", put on the nipper.
- ◆ Separately, connected on a fixed site installed in line or on a railway truck.

In the first two cases, the device is used to check the correct procedure of removing power supply before proceeding with maintenance on all equipment working in DC high voltage conditions. The third case is generated by the necessity to remotely check voltage presence.

4. Final tests

Check of voltage presence/absence on 3kV DC contact lines, without physical contact of the detector through suitable insulating stick.

At the turning on phase, the device perform a self-check, involving the detector and signal circuits, providing data through a green light signal and an audio signal ("Ready to use" status).

This phase finished, the device is ready to use and starts the circuit self-check each 3secs. intervals.

After the circuit self-check, the device is affected by the electrical field when approaching the 3kVcc supplied line.

If no grounded elements are interposed between the detector head and the voltage line and the distance is nearly that of the detection signal (1 meter about), following indications will occur:

- *Presenza di Tensione*, con l'accensione di un led ad alta luminosità rosso e con la commutazione del segnale acustico che da intermittente assume un tono continuo, tale da rendere l'indicazioni nettamente distinta dallo stato di pronto all'uso, mantenendo comunque l'autotest funzionante.
- *Assenza di Tensione*, con l'accensione di un led ad alta luminosità verde e un segnale acustico intermittente con un periodo di 3s (stato di pronto all'uso).

4.1. Fasi di collaudo

Per verificare il corretto funzionamento del rilevatore di presenza/assenza di tensione, è stato realizzato un modello in laboratorio che simuli il comportamento del campo elettrico nella prossimità della linea di contatto. Questo modello ci consente, con le dovute proporzioni, di valutare la funzionalità del dispositivo in molteplici condizioni.

Il modello è composto da un tronco di filo sagomato di circa un metro sospeso su due isolatori a circa 50 centimetri dal piano da lavoro. Questo tronco di linea viene alimentato da un generatore variabile.

Il collaudo è composto da due fasi distinte:

1) Rilevazione della tensione minima d'inesco:

- a) La prova consiste nell'alimentare il tronco di linea con una tensione di 1000Vcc.

Accendere il dispositivo verificando la corretta segnalazione acustica e luminosa di pronto all'uso.

Posizionando il rilevatore parallelo al piano da lavoro e ortogonale al tronco di linea ad una distanza di 500 mm da questo. Si avvicina il dispositivo alla linea alimentata (la velocità di manovra non è rilevante), rivolgendo la testina verso la fonte del campo elettrico fino a raggiungere una distanza di 50 mm. Per una prova corretta si dovrà verificare la segnalazione di presenza tensione con l'accensione di un led rosso, interrotto per un secondo ogni tre dal segnale luminoso dell'autotest (led verde), e da un segnale acustico che da intermittente diviene continuo. Questa manovra dovrà essere eseguita tramite un'ideale impugnatura isolata, per il rilevatore, che permette allo strumento di rimanere completamente isolato durante la prova (il rilevatore non deve essere connesso a terra) e garantisce l'incolumità dell'operatore che svolge la manovra.

- b) La prova consiste nel simulare una alimentazione di una zona elettrica con il dispositivo in opera.

Posizionare il rilevatore perpendicolare al tronco di linea ad una distanza di 50 mm, con la testina rivolta verso la fonte del campo elettrico, su un supporto di materiale isolante (es. PVC) che permette allo strumento di rimanere completamente isolato durante la prova (il rilevatore non deve essere connesso a terra).

Voltage presence: with a red high light led lit on and the audio signal switching from intermittent to continuous tone, so that the indications become clearly definite from the "ready to use" status but maintaining the self-check functioning.

Voltage absence: with a green high light led lit on and a 3secs intermittence audio signal ("ready to use" status).

4.1. Final test phases

In order to check the voltage presence/absence detector correct functioning, a laboratory model has been realized to simulate the electrical field behaviour near the contact line. Such model allows us an evaluation, with due proportions, of the device functioning in different conditions.

It is formed of one 1- meter wire suspended on two isolators at about 50 cm from the test bench, the wire is supplied by a variable generator.

Final test consists in two separate phases:

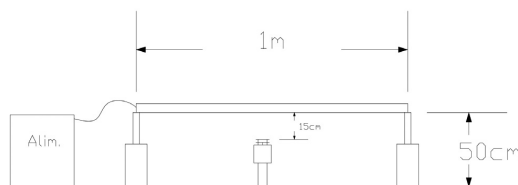


Fig. 13 – Schema semplificato del banco di prova. *Simplified diagram of the test bench.*

1) Trigger minimum voltage detection:

- a) the test consists in supplying the wire with a 1000Vcc voltage.

Turning on the device, checking the correct "ready to use" audio and light signal.

Put the detector in parallel to the test bench and orthogonal to the wire at a distance of 500 mm.

Approach the device to the supplied line (operation speed is negligible), turning the head towards the electrical field source until achieving a 50 mm distance.

In order to attain to a correct test result, it is necessary to check the voltage presence signal through a red led lightning up, interrupted at 3secs intervals by the self-check light signal (green led), and through an intermittent audio signal becoming continuous.

This operation must be performed through a suitable insulated detector grip, allowing a complete insulation of the device during the test (the detector must not be grounded) and warranting safety for the operator performing the test.

- b) the test consists in simulating the supply to an electrical zone where the device is functioning.

Accendere il dispositivo verificando la corretta segnalazione acustica e luminosa di pronto all'uso.

Alimentare il tronco di linea con una tensione di 1000Vcc. Per una prova corretta verificare la segnalazione di presenza tensione con l'accensione di un led rosso, interrotto per un secondo ogni tre dal segnale luminoso dell'autotest (led verde), e da un segnale acustico che da intermittente diviene continuo.

2) *Rilevazione della tensione di alimentazione di una linea di contatto a 3000Vcc.*

a) La prova consiste nell'alimentare il tronco di linea con una tensione di 3000Vcc.

Accendere il dispositivo verificando la corretta segnalazione acustica e luminosa di pronto all'uso.

Ponendo il rilevatore parallelo al piano da lavoro e perpendicolare al tronco di linea ad una distanza di 500 mm da questo. Si avvicina il dispositivo alla linea alimentata (la velocità di manovra non è rilevante), rivolgendo la testina verso la fonte del campo elettrico, fino a raggiungere una distanza di 150 mm. Per una prova corretta si dovrà verificare la segnalazione di presenza tensione con l'accensione di un led rosso, interrotto per un secondo ogni tre dal segnale luminoso dell'autotest (led verde), e da un segnale acustico che da intermittente diviene continuo. Questa manovra dovrà essere eseguita tramite un idoneo supporto, per il rilevatore, di materiale isolante (es. PVC), che permette allo strumento di rimanere completamente isolato durante la prova (il rilevatore non deve essere connesso a terra), e garantisce l'incolumità dell'operatore che svolge la manovra.

b) La prova consiste nel simulare una alimentazione di una zona elettrica con il dispositivo in opera.

Posizionare il rilevatore perpendicolare al tronco di linea ad una distanza di 100 mm, con la testina rivolta verso la fonte del campo elettrico, su un supporto di materiale isolante (es. PVC) che permette allo strumento di rimanere completamente isolato durante la prova (il rilevatore non deve essere connesso a terra).

Accendere il dispositivo verificando la corretta segnalazione acustica e luminosa di pronto all'uso.

Alimentare il tronco di linea con una tensione di 3000Vcc. Per una prova corretta verificare la segnalazione di presenza tensione con l'accensione di un led rosso, interrotto per un secondo ogni tre dal segnale luminoso dell'autotest (led verde), e da un segnale acustico che da intermittente diviene continuo.

Tutta la procedura di collaudo viene eseguita in normali condizioni ambientali

Alla fine di ogni prova si deve resettare il dispositivo e disalimentare il tronco di linea.

Da notare che nonostante si operi con una tensione di 3000Vcc le distanze di lavoro del rilevatore rispetto al tronco di linea del modello, non rispecchiano quelle riscontrate in un impianto ferroviario con un rapporto di

Put the detector perpendicular to the wire at a distance of 50 mm, with the head turned towards the electrical field source, on an insulating material (eg. PVC), allowing a complete insulation of the device during the test (the detector must not be grounded).

Turn the device on, checking the correct audio and light signal of "ready to use" status.

Supply the wire with a 1000Vcc voltage.

In order to attain to a correct test result, it is necessary to check the voltage presence signal through a red led lightning up, interrupted at 3secs intervals by the self-check light signal (green led), and through an intermittent audio signal becoming continuous.

2) *Supply voltage detection of a 3000Vcc contact line.*

a) the test consists in supplying the wire with a 3000Vcc voltage.

Turning on the device, checking the correct "ready to use" audio and light signal.

Put the detector in parallel to the test bench and perpendicular to the wire at a distance of 500 mm.

Approach the device to the supplied line (operation speed is negligible), turning the head towards the electrical field source until achieving a 150 mm distance.

In order to attain to a correct test result, it is necessary to check the voltage presence signal through a red led lightning up, interrupted at 3secs intervals by the self-check light signal (green led), and through an intermittent audio signal becoming continuous.

This operation must be performed through a suitable insulating detector support (eg. PVC), allowing a complete insulation of the device during the test (the detector must not be grounded) and warranting safety for the operator performing the test.

b) the test consists in simulating the supply to an electrical zone where the device is functioning.

Put the detector perpendicular to the wire at a distance of 100 mm, with the head turned towards the electrical field source, on an insulating material (eg. PVC), allowing a complete insulation of the device during the test (the detector must not be grounded).

Turning on the device, checking the correct "ready to use" audio and light signal.

Supply the wire with a 3000Vcc voltage.

In order to attain to a correct test result, it is necessary to check the voltage presence signal through a red led lightning up, interrupted at 3s intervals by the self-check light signal (green led), and through an intermittent audio signal becoming continuous.

The whole final test procedure develops in normal environmental conditions.

At the end of each test, the device must be reset and

circa 1/10. Questo perché, in laboratorio, anche se riusciamo a raggiungere una tensione di 3000Vcc utilizziamo comunque un modello semplificato del reale ambiente dove verrà applicato il rilevatore. Infatti il modello utilizza un tronco di filo sagomato di un metro di lunghezza. In realtà il dispositivo viene inserito in un contesto molto più complesso, formato da una L.d.C. estesa, e dagli elementi che compongono la catenaria (funi, pendini ecc...).

4.2. Test operativi

Come ultima e conclusiva fase sono state eseguite una serie di prove in un impianto TE della linea Roma-Firenze LL, con catenaria 440 mm² alimentata a 3kVcc. Per realizzare queste verifiche il sistema è stato montato su un'asta in vetroresina isolata (fioretto), che normalmente viene utilizzata nelle cabine di trasformazione (SSE) di RFI (Ferrovie dello Stato).

La figura 14 mostra il dispositivo di rilevamento di presenza/assenza tensione.



Fig. 14 - Dispositivo di rilevamento di presenza/assenza tensione adattato, per effettuare le prove in cabina e in linea. *Voltage presence/absence detector device able to perform both box and line tests.*

La prova di funzionamento che è stata eseguita nell'impianto ferroviario della Zona TE 3.1 di Orvieto è composta da due fasi distinte:

- applicazione del rilevatore in un ambiente perturbato;
- applicazione del rilevatore lungo un binario alimentato.

La prima fase si è svolta all'interno di una cabina di trasformazione SSE a C.C. 3.6kVcc (Sottostazione Elettrica). La manovra eseguita consiste nel avvicinare il rilevatore, con l'ausilio di un fioretto isolato, alla sbarra di sottostazione omnibus. La tensione fra la sbarra positiva e quella negativa è quella fornita alla linea aerea della tratta in esame, circa 3kVcc nominali. Per un corretta manovra è necessario collocare il fioretto, con il rilevatore di presenza/assenza tensione installato, sotto la sbarra omnibus sulla quale si vuole effettuare la verifica e procedere con la manovra.

the correct removing power supply procedure must be carried out.

It is worth noting that, though operating with a 3000Vcc voltage, the distance between the detector and the wire of the laboratory model differs from that of a real railway infrastructure of a 1/10 ratio.

It probably occurs because, even achieving a 3000Vcc voltage, the laboratory model is simpler than the real workplace where the detector will be applied. In laboratory a 1-meter long shaped wire is used, while in the real and more complex environment where the device is inserted, there is not only a much longer contact line but also all the other elements composing the catenary (ropes, hangers, etc...).

4.2. Operational tests

For our procedure final phase, a series of tests has been performed on a TE plant of the railway line Roma-Firenze LL, with a 440 mm² catenary supplied at 3kVcc. The test

system has been mounted on an insulated fiberglass reinforced plastic bar (insulated stick), usually used in transformation boxes (SSE) of RFI (Ferrovie dello Stato).

Figure 14 shows the voltage presence/absence detector device.

The functioning test performed in the railway plant of Zone TE 3.1 in Orvieto consists in two separate phases:

- detector application in a noisy environment;
- detector application along a supplied track;

The first phase developed inside a transformation box SSE at DC 3.6kVcc (Electrical substation). With the help of the insulated fiberglass reinforced plastic bar, the detector gets near the omnibus substation bar. Voltage between the positive and negative bars is that supplied to the air line of the stretch under examination, about 3kVcc

Accendere il dispositivo verificando la corretta segnalazione acustica e luminosa di pronto all'uso.

Alzare il fioretto fino a portarlo a circa 500 mm dalla sbarra.

Per una rilevazione corretta si dovrà verificare la segnalazione di presenza tensione con l'accensione di un led rosso, interrotta ogni tre secondi dal segnale luminoso dell'autotest (led verde) e da un segnale acustico che da intermittente assume un tono continuo. Per un esatto funzionamento ogni volta che viene effettuata una nuova verifica è necessario resettare il dispositivo. La certezza della rilevazione eseguita in cabina è data dal fatto che, se durante una corretta segnalazione eseguiamo un movimento laterale, allontanando così il rilevatore dalla fonte del campo, questo interrompe la sua segnalazione appena viene superato un ipotetico raggio, di circa 500 mm, di una circonferenza che abbia come centro la sbarra stessa (fig. 15).

La seconda fase si è svolta all'aperto lungo un binario secondario della stazione di Orvieto (fig. 16). In questo caso nonostante il binario in questione sia affiancato dai binari di corsa della stazione, la prova è stata svolta in maniera corretta e con minori problematiche della precedente. Va notato che siamo in presenza di un ambiente sicuramente meno perturbato.

Anche in questa occasione posizionato il fioretto, con il rilevatore di presenza/assenza tensione installato, sotto la linea aerea del binario in esame e perpendicolarmente alla catenaria si è proceduto con la manovra.

Accendere il dispositivo verificando la corretta segnalazione acustica e luminosa di pronto all'uso.

nominal. In order to attain a correct test procedure, put the insulated stick with the presence/absence detector installed under the omnibus bar where the verification and operation are developed.

Turning on the device, checking the correct "ready to use" audio and light signal.

Raise the insulated stick until a 500 mm distance from the bar.

In order to attain to a correct test result, it is necessary to check the voltage presence signal through a red led lightning up, interrupted at 3s intervals by the self-check light signal (green led), and through an intermittent audio signal becoming continuous.

At the end of each test, the device must be reset.

The accuracy of the detection is given by the interruption of the detector signal when, during a side movement, it is moved away from the field source at a hypothetical distance of more than 500 mm about, inside a circumference with the bar itself in the centre (fig. 15).

The second phase developed outside, along a secondary track in the railway station of Orvieto (fig. 16). In this case, though the presence of other tracks "on duty" beside the track in question, the test has been correctly performed and without particular difficulties. It is important to note that the present environment is much less disturbed than the previous.

Also in this case, put the insulated stick with the presence/absence detector installed under the air line of the



Fig. 15 - Foto relativa alla posizione del rilevatore durante la prova in cabina. *Picture showing the exact detector position during the test inside the box.*



Fig. 16 - Foto relativa alla posizione del rilevatore durante la prova lungo un binario secondario di una stazione. *Picture showing the detector position during the test along a secondary track of a railway station.*

Alzare in piedi il fioretto, mantenendo l'estremità inferiore appoggiata a terra.

Non è necessario sollevare completamente il fioretto. Un funzionamento corretto del rilevatore permette di segnalare la presenza/assenza di tensione ponendo il fioretto alzato in piedi, con il rilevatore montato e pronto all'uso. Questa posizione porta il rilevatore a circa un metro dalla linea aerea, che per una misura all'aperto è stata riscontrata come distanza massima di innesco. Questa condizione ci dà un grado di sicurezza in più rispetto alla misura in ambiente chiuso. Infatti l'operatore che esegue la manovra non deve arbitrariamente avvicinare lo strumento alla linea aerea. Per una rilevazione corretta si dovrà verificare la segnalazione di presenza tensione con l'accensione di un led rosso, interrotta ogni tre secondi dal segnale luminoso dell'autotest (led verde) e da un segnale acustico che da intermittente assume un tono continuo.

In fine simulando una apertura dei sezionatori, che alimentano la tratta su cui si effettua la prova, durante una segnalazione di presenza tensione, il dispositivo ha risposto con una interruzione istantanea della segnalazione di presenza tensione durante l'assenza di alimentazione, per poi riprenderla subito dopo la chiusura dei sezionatori.

5. Conclusioni

Attualmente il mercato offre, esclusivamente, dei rileva-

track under examination and perpendicular to the catenary, and then proceed with the verification and operation.

Turning on the device, checking the correct "ready to use" audio and light signal.

Stand the insulated stick, maintaining its bottom tip grounded.

It is not necessary to completely stand the insulated stick. A correct detector functioning allows a voltage presence/absence signal detection standing up the insulated stick and with the installed detector ready to use. In this position, the detector is at about 1 meter from the air line, recognized as maximum trigger distance in an outside test procedure. This condition guarantees a higher security procedure conditions than those during the test in a close environment. In fact, the operator must not arbitrarily approach the device to the air line, but, in order to attain to a correct test result, it is necessary to check the voltage presence signal through a red led lightning up, interrupted at 3secs intervals by the self-check light signal (green led), and through an intermittent audio signal becoming continuous.

Finally, simulating the opening of the isolators supplying the track under test during a voltage presence signal detection, the device instantaneously interrupts the voltage presence signal to restart it immediately after the closing of the isolators.

tori di tensione portatili di tipo resistivo o capacitivo, con o senza alimentazione incorporata, utilizzati a contatto con l'elemento da provare, su reti elettriche con tensione alternata.

Questi rilevatori sono normalmente composti da vari elementi (come i componenti che effettuano il contatto con i poli del circuito da testare) necessari per effettuare la misura.

Il dispositivo sopra descritto non ha la necessità di utilizzare elementi supplementari, ma risulta completamente isolato dall'ambiente che lo circonda.

Questa caratteristica gli dà un grado di libertà in più e gli consente, come precedentemente illustrato, un utilizzo in situazioni diverse.

Quello che appare evidente è che una azienda che esercita la propria attività su reti elettriche ad alta tensione alternata e continua può disporre soltanto di una famiglia di dispositivi a contatto per il settore alternato. Il nuovo dispositivo di rilevamento consente di migliorare il livello di sicurezza esistente per le applicazioni sulle linee di alimentazione in corrente continua.

5. Conclusions

At present, market exclusively offers portable resistive or capacitive voltage detector, with or without inner supply, used only in contact with the device to test on AC electrical networks.

Such detectors usually consist in different elements necessary to perform the test (like those in contact with the poles of the circuit under test.) and need no additional components, since it is completely insulated from the surrounding environment.

This characteristic grants more freedom of action and allows several uses of the device in different conditions.

The real evidence emerging from this study is that companies working on high AC/DC voltage networks can only avail of a family of contact devices for the AC sector. The new detector allows the achievement of a higher safety degree for the applications in AC supply lines.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] LUCIO MAYER *"Impianti ferroviari tecnica ed esercizio"*, 1976.
- [2] F. PERTICAROLI, *"Sistemi elettrici per i trasporti"*, 2001.
- [3] G. BOBBIO, S. SAMMARCO, *"Elettrotecnica generale"*, 1983.
- [4] E. CUNIBERTI, L. DE LUCCHI, B. DE STEFANO *"Elettronica"*, 2007.
- [5] R. Paul CLAYTON, *"Introduction Electromagnetic Compatibilità"*, Second Edition 1996.