

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI  
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCATRONICA**

---

***TESI DI LAUREA MAGISTRALE***

**ANALISI DEI REQUISITI TECNICI E  
NORMATIVI DEI RADIOCOMANDI  
INDUSTRIALI CON FUNZIONI DI  
SICUREZZA**

***Relatore: Ing. Diego Dainese***

***Laureando: Alessio Annesi***

**1132630**

**ANNO ACCADEMICO: 2016-17**



## SOMMARIO

---

La presente tesi di laurea ha lo scopo di analizzare e descrivere i requisiti richiesti dalle normative in materia di **radiocomandi di controllo delle macchine**.

In particolar modo si andrà ad analizzare la fattibilità della scelta negli ambiti ove questo dispositivo viene maggiormente utilizzato, soprattutto in ambienti industriali particolarmente disturbati e dove vi sarà la necessità di comandare una macchina da remoto, visto l'elevato pericolo per l'operatore.

A seguito di una breve digressione sulla storia e sulle caratteristiche peculiari dei dispositivi radio, il focus si sposterà sull'analisi delle varie direttive vigenti e delle norme armonizzate che definiscono le regolamentazioni che portano, infine, alla marcatura *CE* per arrivare alla commercializzazione del radiocomando in Europa.

La parte centrale del documento verrà dedicata ad un'analisi meticolosa dell'evoluzione normativa, in modo tale da evidenziare gli aggiornamenti rispetto alle revisioni precedenti e le motivazioni che hanno spinto gli enti normatori ad apportare tali modifiche. Inoltre vi sarà modo di affrontare tutte le questioni riguardanti gli obblighi dei fabbricanti in materia di dichiarazione di conformità e di test di pre-compliance.

Il terzo capitolo espone i concetti tecnici di principio che portano alla realizzazione del radiocomando. Partendo dal design del trasmettitore, si passerà a quello del ricevitore, facendo particolare attenzione alle tecniche di progettazione orientate alla sicurezza, come la ridondanza di componenti strategici.

Infine vi sarà l'occasione di affrontare brevemente concetti riguardanti la compatibilità elettromagnetica, focalizzandosi principalmente ad accorgimenti da effettuare su dispositivi radio.



*Alla mia famiglia,  
Al mio relatore,  
Alla mia Margherita che mi ha sempre sostenuto e spinto  
a realizzare i miei sogni.*



# INDICE

---

1	INTRODUZIONE	1
1.1	Cenni storici ed evoluzione	1
1.1.1	Principali contesti di utilizzo dei radiocomandi	4
1.2	I radiocomandi industriali	5
1.2.1	Salto di frequenza	8
1.2.2	Funzionamento della trasmissione radio	8
1.2.3	Interferenze e sicurezza	9
2	RADIOCOMANDI INDUSTRIALI DI SICUREZZA: ANALISI NORMATIVA	11
2.1	Introduzione	11
2.2	I Requisiti Essenziali di Sicurezza dei radiocomandi industriali	14
2.3	CEI EN 60204: Sicurezza del macchinario	22
2.3.1	Aggiornamenti apportati dalla IEC 60204-1	27
2.3.2	Caso specifico: Prescrizioni per le macchine di sollevamento	31
2.4	Direttiva 2014/53/UE: Radio Equipment Directive	36
2.4.1	Specifiche di conformità generali di un radiocomando	38
2.4.2	Frequenze operative ammesse nelle radiocomunicazioni	41
2.4.3	Le Bande Industrial, Scientific and Medical (Industrial, Scientific and Medical (ISM))	42
2.4.4	Tecnologia di trasmissione dati Listen Before Talking (LBT)	47
2.4.5	Dichiarazione di conformità UE dei radiocomandi.	47
2.5	CEI EN 62745: Requisiti di sicurezza di sistemi di controllo senza fili.	59
2.5.1	Principali contenuti della norma.	60
2.5.2	Nuova terminologia introdotta dalla norma.	62
3	TECNICHE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE DI UN RADIOCOMANDO.	65
3.1	Introduzione	65
3.2	Design e schema elettrico di principio del trasmettitore.	66
3.2.1	Soluzioni pratiche per l'eliminazione di componenti armoniche nei segnali.	70
3.3	Design e schema elettrico di principio del ricevitore	73
3.3.1	Tecnica di conversione supereterodina	78

3.3.2	Automatic Gain Control (Automatic Gain Control (AGC))	79
3.4	Caratteristiche funzionali di un radiocomando industriale	80
3.4.1	Sicurezza nelle comunicazioni digitali.	81
3.4.2	Accorgimenti costruttivi di sicurezza.	83
3.5	Criteri di progettazione EMC	86
	Conclusioni	95
	<b>Appendix</b>	<b>97</b>
A	DISTANZA DI HAMMING	99
A.1	Esempi	99
A.2	Storia ed applicazioni	99
B	BIT ERROR RATIO	101
C	PHASE-LOCKED LOOP	103
D	CALCOLO DI POTENZA IRRADIATA	105
	BIBLIOGRAFIA	107

## ELENCO DELLE FIGURE

---

Figura 1.1	Tipico campo di applicazione del radiocomando industriale: il carro ponte. 1
Figura 1.2	Imbarcazione comandata a distanza: l'esperimento di Tesla. 1
Figura 1.3	Le radiazioni elettromagnetiche. 2
Figura 1.4	Radiocomando proporzionale 3
Figura 1.5	Tipi di modulazione in radiofrequenza. Confronto tra modulazione di ampiezza e modulazione di frequenza. 4
Figura 1.6	Radiocomando per movimentazione di barriere. 4
Figura 1.7	Schema riassuntivo di una trasmissione radio. Esempio: trasmissione radiofonica. 6
Figura 1.8	Lo spettro elettromagnetico. Si noti come le onde radio siano caratterizzate da un'elevata lunghezza d'onda. 7
Figura 1.9	Logo della Commissione federale per le comunicazioni, un'agenzia governativa con carattere di autorità amministrativa indipendente degli Stati Uniti d'America. 8
Figura 1.10	Un ricevitore con i relé e la morsettiera. 9
Figura 1.11	Tipico utilizzo di un radiocomando industriale. 10
Figura 1.12	Tabella 3 di ISO 13849-1. 10
Figura 2.1	Vantaggi nell'utilizzo di radiocomandi industriali. 11
Figura 2.2	Esempio di segnalatore luminoso e segnalatore acustico. 17
Figura 2.3	Conseguenza probabile in situazione di Unintended Movement From Standstill (UMFS). 19
Figura 2.4	Esempio di contatto ad apertura positiva di un fine-corsa azionato da una camma. 20
Figura 2.5	Precauzioni per impedire l'accesso non autorizzato: interruttore a chiave 24
Figura 2.6	Pulsante di arresto. Differenze tra un pulsante di arresto e uno di arresto d'emergenza. 25
Figura 2.7	Esempio di gru radiocomandata. 32
Figura 2.8	La direttiva Radio Equipment Directive (RED) si applica a tutti i dispositivi che utilizzano comunicazioni radio. 36

Figura 2.9	Tipico diagramma di radiazione di un'antenna isotropica. 43	
Figura 2.10	Tipico diagramma di radiazione di un'antenna dipolo. 44	
Figura 2.11	Aree di normalizzazione delle frequenze. La figura è contenuta nel documento Radio Regulations Unione Internazionale delle Telecomunicazioni (ITU) all'art. 5.2 46	
Figura 2.12	Esempio di marcatura CE eseguita con la griglia apposita. 48	
Figura 2.13	Un trasmettitore può comunicare solamente con un'unità ricevente ad esso associata per motivi di sicurezza nella radiocomunicazione. 51	
Figura 2.14	Simbolo di informazione o <i>information sign</i> precedentemente utilizzato nella direttiva Radio and Telecommunication Terminal Equipment (RTTE). 51	51
Figura 2.15	Pittogramma da utilizzare nel caso di apparecchiature radio soggette a restrizioni. 53	
Figura 2.16	Quadro elettrico installato a bordo di un carro-ponte. 55	
Figura 2.17	Uno schema presente nella Norma CEI EN 62745. 60	60
Figura 2.18	Radiocomando industriale con funzioni di sicurezza. Si noti come il pulsante di arresto di emergenza, in questo caso, è chiaramente identificabile perchè posto in modo disgiunto rispetto a tutti gli altri pulsanti, sulla parte destra del dispositivo. 62	
Figura 3.1	Analisi semplificativa della propagazione del segnale in una trasmissione radio. 66	
Figura 3.2	Schema elettrico di un oscillatore al quarzo ed immagine commerciale. 67	
Figura 3.3	Logica di funzionamento di un modulatore Frequency-Shift Keying (FSK). 68	

- Figura 3.4 Possibile schema elettrico del circuito associato all'amplificatore di potenza e di frequenza del segnale RF. Amplificatore di classe C, che permette di ottenere un'elevata efficienza, minimi ingombri ed un largo utilizzo in campo di trasmissioni RF. I valori di  $L_1$  e  $C_1$  devono essere scelti tali che la frequenza del segnale in ingresso  $V_i$  sia pari a  $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$ . Il compito del transistor  $Q_1$  è quello di generare una serie di correnti pulsate e farle fluire nel circuito risonante. La frequenza del segnale in uscita può anche essere raddoppiata scegliendo induttanza e condensatore in modo tale da ottenere una frequenza risonante doppia. 69
- Figura 3.5 Circuito elettrico per ottenere l'adattamento di impedenza. La corrente nel circuito, per la legge di Ohm è pari a  $I = \frac{V_s}{Z_s + Z_L}$ , mentre la tensione in uscita è, secondo il partitore di tensione  $V_L = V_s \frac{Z_L}{Z_s + Z_L}$ . A questo punto, la potenza in uscita sarà  $P = V_L I = \frac{V_s^2 Z_L}{(Z_s + Z_L)^2}$  che risulta massima quando  $Z_L = Z_s$ . 69
- Figura 3.6 Filtro passa-basso (low pass filter) con circuito L-C. La costante di tempo  $\tau = \frac{1}{\omega_0} = \sqrt{LC}$  dipende strettamente da induttanza e condensatore che dovranno essere scelti in modo tale da ottenere una determinata frequenza di taglio e lasciare passare solamente quella desiderata. Sotto lo schema circuitale si presentano i diagrammi di bode di modulo e fase. 71
- Figura 3.7 Filtro passa-basso (low pass filter) con circuito R-L-C. Sotto lo schema circuitale si presentano i diagrammi di bode di modulo e fase. 72
- Figura 3.8 Schema circuitale del filtro passa-banda, realizzato mediante **amplificatore operazionale in configurazione invertente**. 74
- Figura 3.9 Diagrammi di Bode del filtro passa-banda. Si noti la presenza di uno zero nell'origine che genera una retta con pendenza 20 dB/dec; alla frequenza  $1/\tau_1$  lo zero si elide con il polo ed, infine, in  $1/\tau_2$  si trova un altro polo che conferisce una pendenza di -20 dB/dec. 74
- Figura 3.10 Schema circuitale di un filtro passa-banda realizzato con bipoli passivi. 75

- Figura 3.11 Diagramma del modulo della funzione di trasferimento tipica di un filtro passa-banda. Per frequenze minori e maggiori di  $f_0$ , fino alle frequenze di **taglio**  $f_H$  ed  $f_L$ , si deve essere all'interno delle bande laterali. La larghezza di banda del filtro viene chiamata  $B$ . 76
- Figura 3.12 Azioni del filtro passa-banda nella fase di acquisizione del segnale. Con  $V_{in}$  viene indicata la tensione del segnale in ingresso;  $V_o$  è pari alla tensione del segnale che verrà amplificato in seguito;  $T$  è la funzione di trasferimento del filtro, mentre  $N$  indica il rumore bianco. 76
- Figura 3.13 Schema circuitale del modulatore *slope detector*. 77
- Figura 3.14 Schema a blocchi del ricevitore con tecnica di conversione supereterodina. 78
- Figura 3.15 Schema a blocchi del controllo **AGC** applicato ad entrambi gli stadi di amplificazione di un ricevitore supereterodina. 80
- Figura 3.16 Esempi di contatti di scambio ad azione guidata. 84
- Figura 3.17 Schema a blocchi di un sistema di controllo remoto. Un sistema a singolo canale fallirà se un suo sottosistema fallisce; in un sistema bicanaled (anche chiamato ridondante) dovrebbero accadere due guasti, uno in ogni canale prima che il sistema fallisca. 86
- Figura 3.18 Le tre attività nella progettazione di un dispositivo, apparecchio, sistema, conforme ai requisiti **Electromagnetic Compatibility (EMC)**. 87
- Figura 3.19 Schema semplificato di un alimentatore switching flyback. Si noti che viene utilizzato il modello del mutuo accoppiamento ideale con l'induttanza  $L_1\mu$  per rappresentare il trasformatore. 90
- Figura 3.20 Andamento di tensione e corrente nel diodo in un convertitore flyback nell'ipotesi di funzionamento *Continuous Conduction Mode (CCM)*. Durante il tempo  $t_{off}$  l'interruttore  $S$  rimane aperto, quindi il diodo risulta in conduzione, mentre nel  $t_{on}$   $S$  è chiuso e il diodo è contropolarizzato, quindi interdetto. Da qui l'andamento impulsivo di queste due grandezze. 90

Figura 3.21	Accorgimento da apportare in caso di memoria non completamente occupata da istruzioni. Si inseriscono istruzioni NOP fino ad incontrare la funzione JUMP che inizializza il ripristino. <a href="#">92</a>
Figura 3.22	La procedura sintetizza quanto precedentemente accennato riguardo al modo migliore di affrontare la progettazione di un prodotto secondo criteri EMC. <a href="#">93</a>
Figura A.1	Cubo binario. Calcolo della distanza di Hamming tra 100-011 e tra 010-111. <a href="#">99</a>
Figura C.1	Schema a blocchi generale di un PLL. <a href="#">104</a>
Figura D.1	Circuito elettrico equivalente di un generico elemento irradiante in fase di trasmissione. <a href="#">105</a>

## ELENCO DELLE TABELLE

---

Tabella 2.1	Caratteristiche di un collegamento radioelettrico sicuro. <a href="#">17</a>
Tabella 2.2	Categorie di ricevitore in base al Performance Level (PL). Tabella 1 dell'articolo 1 della ETSI EN 300-220-2 <a href="#">40</a>
Tabella 2.3	Tabella contenuta nella ETSI EN 300-220-2, riassuntiva delle bande di frequenza utilizzabili dai dispositivi a corto raggio. <a href="#">42</a>
Tabella 2.4	Tabella riassuntiva delle bande di frequenza definite ISM, contenuta negli allegati B e C della ETSI EN 300-220-2. Per <i>Regione 1</i> si intende tutta la zona comprendente gli Stati della UE; mentre per <i>Regione 2</i> ci si riferisce al continente americano (vedi fig. 2.11). <a href="#">45</a>

## ACRONIMI

---

CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
FCC	Federal Communications Commission
PL	Performance Level

<b>RTTE</b>	Radio and Telecommunication Terminal Equipment
<b>RED</b>	Radio Equipment Directive
<b>LVD</b>	Low Voltage Directive
<b>EMC</b>	Electromagnetic Compatibility
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>RES</b>	Requisiti Essenziali di Sicurezza
<b>UMFS</b>	Unintended Movement From Standstill
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>CCS</b>	Cableless Control System
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>EFIS</b>	ECO Frequency Information System
<b>BER</b>	Bit Error Ratio
<b>SDR</b>	Short Range Devices
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical
<b>ITU</b>	Unione Internazionale delle Telecomunicazioni
<b>ERP</b>	Potenza Equivalente Irradiata
<b>LBT</b>	Listen Before Talking
<b>CS</b>	Carrier Sense
<b>MA</b>	Multiple Access
<b>CD</b>	Collision Detection
<b>FSK</b>	Frequency-Shift Keying
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency
<b>PLL</b>	Phase-Locked Loop
<b>VCO</b>	Voltage Control Oscillator
<b>AGC</b>	Automatic Gain Control
<b>PL</b>	Performance Level
<b>GSS</b>	Arresto Generale Sicuro
<b>EMS</b>	Pulsante di Emergenza
<b>ATS</b>	Automatic Stop

**SMPS** Switched Mode Power Supply

**PWM** Pulse Width Modulation

**SIL** Safety Integrity Level



## INTRODUZIONE

Esistono moltissimi tipi di radiocomando in commercio, dal piú semplice dispositivo che permette di aprire e chiudere il portone di un garage a quello che consente di manipolare una gru che solleva carichi molto pesanti, alla movimentazione di componenti particolari, all'interno di un'acciaiera, azionando un carro ponte, come visibile in fig. 1.1.



Figura 1.1: Tipico campo di applicazione del radiocomando industriale: il carro ponte.

### 1.1 CENNI STORICI ED EVOLUZIONE

Tutto ciò che accomuna queste operazioni é la necessità, da parte dell'operatore, di lavorare in remoto, quindi di poter interagire a distanza con la sorgente che si vuole comandare. Fu così che, nel 1898 Nikola Tesla ideó il primo dispositivo che, attraverso l'utilizzo di onde radio come mezzo di trasmissione, riuscí a comandare un'imbarcazione.

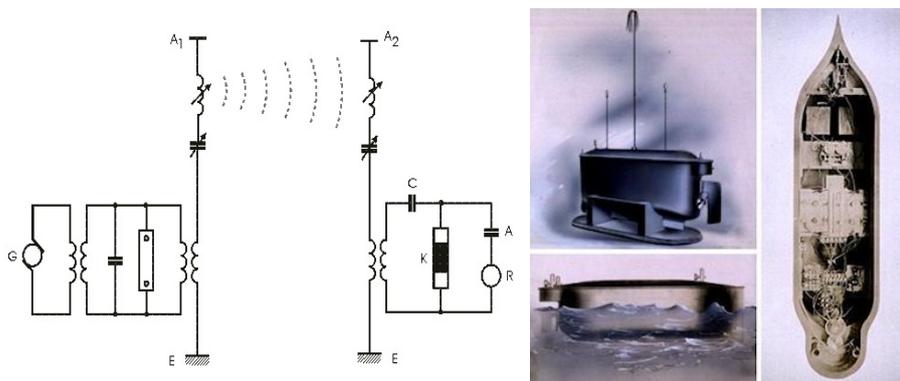


Figura 1.2: Imbarcazione comandata a distanza: l'esperimento di Tesla.

Altro esperimento di particolare rilevanza é da attribuire a Guglielmo Marconi che, nel 1900, riuscí nell'impresa di controllare, dalla sua

imbarcazione nel porto di Genova, l'accensione dell'impianto di illuminazione della città australiana di Sidney.

Tuttavia questi dispositivi risultarono molto ingombranti, senza alcuna possibilità di ridimensionarli dato che la tecnologia disponibile all'epoca non permise uno sviluppo in tal senso, nemmeno durante la Seconda Guerra Mondiale, quando si tentò di ideare degli ordigni comandati a distanza, ma senza successo, in quanto si rivelarono apparecchiature inefficaci.

I primi radiocomandi si basavano sulla trasmissione di un segnale radio modulato con uno o più segnali a bassa frequenza, nel campo dell'udibile, da 20 Hz fino a 20 kHz (fig. 1.3). Il segnale in uscita del ricevitore comandava un particolare tipo di **relé a lamine vibranti**. Queste, avendo una frequenza di risonanza diversa l'una dalle altre, permettevano di distinguere i diversi segnali in ingresso e di interpretarli scaturendo, di conseguenza, determinate azioni.

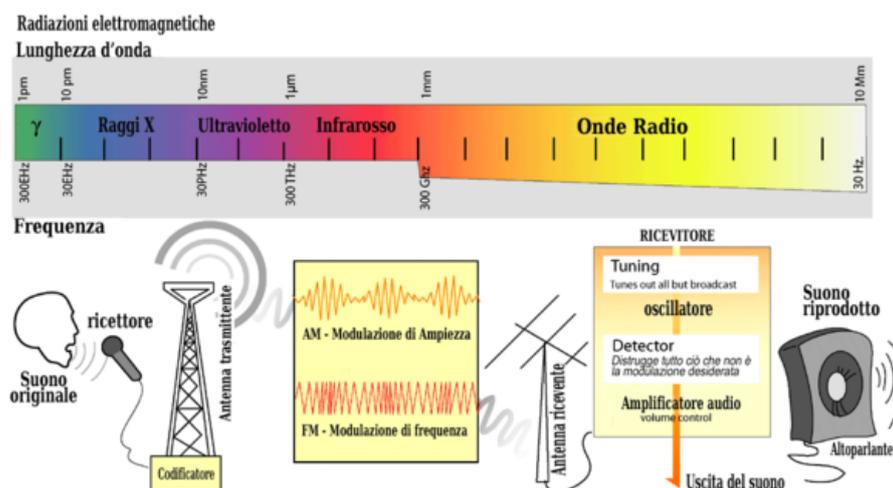


Figura 1.3: Le radiazioni elettromagnetiche.

Negli anni '60, con l'avvento dei *transistor*, si riuscì a ridurre di molto le dimensioni, nonché la richiesta della batteria, in quanto venne notevolmente ridotta la circuiteria della bassa tensione ed eliminata l'alimentazione ad alta tensione. Si trattava comunque di dispositivi che permettevano solo un controllo di tipo acceso/spento.

Negli anni '70, grazie alla nascita dei *circuiti integrati*, si realizzarono i cosiddetti **radiocomandi proporzionali** che erano in grado di controllare la posizione di un servocomando in maniera correlata rispetto a quella della leva.

Per quanto concerne la parte a trasmissione, i primi radiocomandi utilizzavamo la **modulazione di ampiezza (AM)**, in sostanza si



Figura 1.4: Radiocomando proporzionale

andava a modulare l'ampiezza di un'onda sinusoidale ad una frequenza desiderata (*portante*) in maniera proporzionale all'ampiezza del segnale da trasmettere (*modulante*). Questa tecnologia permetteva di utilizzare circuiti piú semplici a costo peró di effetti indesiderati quali:

- l'estrema sensibilità ai disturbi ed alle condizioni di propagazione in quanto qualsiasi disturbo va a sommarsi direttamente in ampiezza al segnale che si sta trasmettendo, determinando, perciò, un messaggio errato, quasi impossibile da decifrare od illeggibile;
- richiede l'uso di potenze maggiori per coprire le stesse distanze.

In seguito, grazie alla miniaturizzazione dei circuiti, fu possibile realizzare radiocomandi che trasmettevano in **modulazione di frequenza (FM)** ed erano molto piú robusti. Infatti, in tal caso, si va a modulare la frequenza della portante in funzione dell'ampiezza della modulante. I vantaggi di questa modulazione rispetto alla precedente sono molteplici:

- minor sensibilità ai disturbi;
- permette una trasmissione di miglior qualità;
- maggiore efficienza energetica, dato che il segnale modulato trasporta la sola potenza della portante.

Di seguito, in fig. 1.5 si riesce a notare la differenza nel segnale modulato, ovvero quello che trasporta le informazioni, con i due diversi tipi di modulazione.

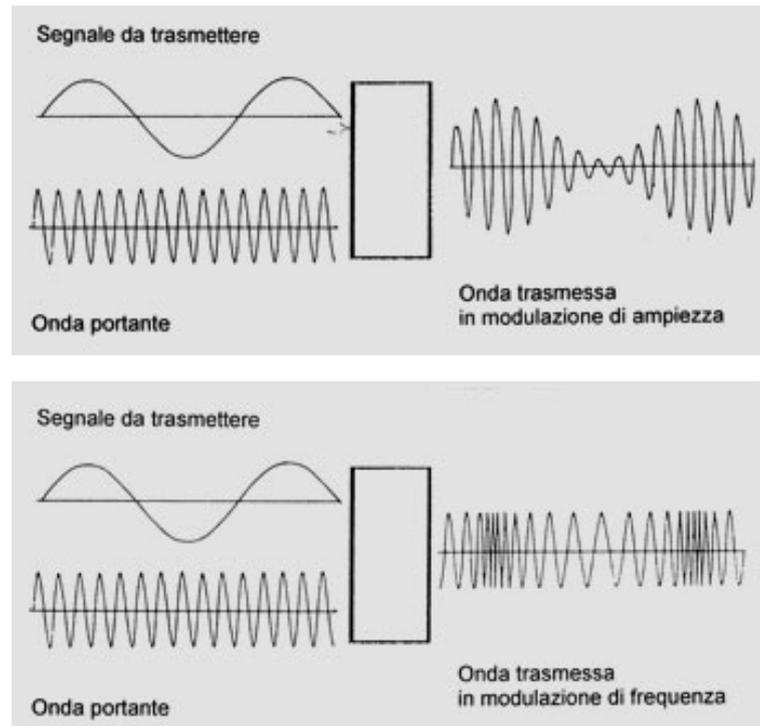


Figura 1.5: Tipi di modulazione in radiofrequenza. Confronto tra modulazione di ampiezza e modulazione di frequenza.

#### 1.1.1 Principali contesti di utilizzo dei radiocomandi

Dal punto di vista militare e scientifico, anche se non sarebbe propriamente opportuno parlare di radiocomandi, esistono dei veicoli che, anziché essere controllati da un comando con leve, si portano ad una determinata posizione attraverso algoritmi computerizzati di guida autonoma. Esistono invece robot che vengono impegnati per il disinnesco di ordigni che sono completamente radiocomandati, in quanto non sono in grado di gestire uno spostamento in maniera autonoma.

Per quanto concerne l'ambito civile, invece, esiste una varietà davvero ampia di radiocomandi, utilizzati soprattutto per l'apertura/-chiusura di cancelli, garage, barriere e dissuasori, oppure per l'apertura e chiusura di auto, attivazione e disattivazione di antifurti.



Figura 1.6: Radiocomando per movimentazione di barriere.

I codici che possono essere inviati dal radiocomando sono sostanzialmente di due tipi:

- codice fisso: il codice rimane sempre lo stesso e, per questo motivo, possono essere duplicati. Per tale ragione, la sicurezza é limitata;
- *rolling code*: ad ogni trasmissione, il codice trasmesso viene cambiato. Ogni qualvolta che il ricevente codifica un messaggio, restituisce un valore di sincronismo che va ad incrementare un numero salvato nel radiocomando; se il numero di sincronismo ricevuto é maggiore del precedente, si procede al comando, altrimenti l'azione si interrompe.

Inoltre, i radiocomandi possono essere differenziati in base al modo di utilizzare radiofrequenze:

- radiocomandi che trasmettono in una **singola frequenza**, fissa, modificabile attraverso quarzo, oppure regolabile attraverso trimmer capacitivi o induttanza variabile;
- radiocomandi **multifrequenza**, che integrano un dispositivo interno che consente all'utente di impostare la frequenza desiderata senza dover cambiare componenti o effettuare tarature.

## 1.2 I RADIOCOMANDI INDUSTRIALI

Come già accennato in precedenza, i radiocomandi sono frequentemente utilizzati in azienda in tutte le circostanze in cui si vuole **disaccoppiare l'operatore dalla macchina** principalmente per motivi di sicurezza. Infatti possono esistere situazioni in cui il meccanismo, che si muove, é caratterizzato da dimensioni particolarmente elevate e, quindi, vi potrebbe essere la necessità di supervisionarlo visivamente durante tutto l'arco di tempo richiesto dallo spostamento desiderato. Solamente in tal modo sarà possibile evitare determinati rischi che, altrimenti, andrebbero a determinare un danno.

Un radiocomando industriale ha, tuttavia, molte cose in comune con i classici radiocomandi casalinghi che vengono utilizzati quotidianamente, descritti in precedenza. Il **principio di funzionamento** é ciò che accomuna tutti questi dispositivi e verrà descritto brevemente come segue:

- **TRASMETTITORE**
  - viene generato un codice attraverso la pressione di un pulsante;
  - viene inviata l'onda radio che fa da mezzo di trasporto del messaggio;

– il messaggio giunge al ricevitore.

- **RICEVITORE**

- riceve il messaggio attraverso un segnale radio;
- interpreta e decodifica il messaggio;
- esegue l'azione desiderata.

Di seguito, in fig. 1.7, troviamo una breve schematica di tutto ciò che avviene, in sintesi, durante una trasmissione radiofonica, trascurando volutamente la presenza del *modulatore* e del *demodulatore* che si occupano rispettivamente della codifica e della decodifica del messaggio trasmesso.

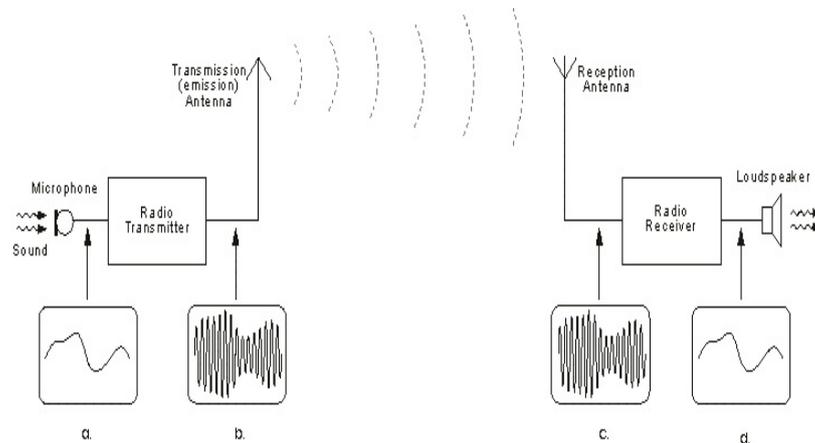


Figura 1.7: Schema riassuntivo di una trasmissione radio. Esempio: trasmissione radiofonica.

Il principale problema riguardo l'utilizzo dei radiocomandi industriali sta nel fatto che, istante per istante, si possono trovare infinite onde elettromagnetiche che viaggiano nell'aria. Tra i molti esempi che si potrebbero fare, trovano rilevanti importanza ed attualità le onde radio emesse dagli *smartphone* e le connessioni Wi-Fi a cui ci si collega grazie ad un qualunque dispositivo mobile per usufruire della connessione internet senza cavo.

La principale soluzione, ed anche la più intuitiva, riguarda la possibilità di trasmettere a diverse frequenze che prendono il nome di **canali**.

Se si andasse ad analizzare una particolare trasmissione radio alla frequenza di 433 MHz, al fine di minimizzare le interferenze provenienti da altri radiocomandi che inviano e ricevono con la medesima frequenza, il trasmettitore potrebbe decidere di inviare a 433,425 MHz. Tuttavia c'è la possibilità di includere dei **codici digitali**, inviati insieme al messaggio, che il ricevitore si aspetta così, nel caso in cui

le onde in ingresso fossero ad una frequenza sbagliata od il codice fosse diverso da quello atteso, la comunicazione potrebbe essere interrotta per motivi di sicurezza e grazie a delle direttive che saranno analizzate in seguito.

Il principale vantaggio nell'utilizzo delle onde radio per trasmettere informazioni, sta nelle proprietà peculiari delle stesse; infatti, come visto precedentemente, si tratta di radiazioni non ionizzanti, ovvero a basso contenuto energetico e, per definizione, non capaci di ionizzare la materia, a bassa frequenza e, quindi, con una elevata **lunghezza d'onda**. Andando ad analizzarne la definizione si ha che:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

con  $v$  velocità delle onde elettromagnetiche, pari alla velocità della luce  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  ed  $f$  la frequenza dell'onda trasmessa. Di conseguenza, se si ipotizza una frequenza di 100 MHz, si ottiene una lunghezza d'onda di 3 metri. Si capisce subito, quindi, che un primo vantaggio si ritrova nella **portata**, che può arrivare fino a 500 metri; inoltre, le onde radio, possono oltrepassare ostacoli, come muri e pareti di un edificio.

In definitiva, si possono riassumere i vantaggi nell'utilizzo dei radiocomandi per trasmettere informazioni:

- portata elevata grazie all'elevata lunghezza d'onda del segnale;
- elevata capacità di viaggiare attorno ed attraverso ostacoli;
- elevata quantità di dati trasportabili.

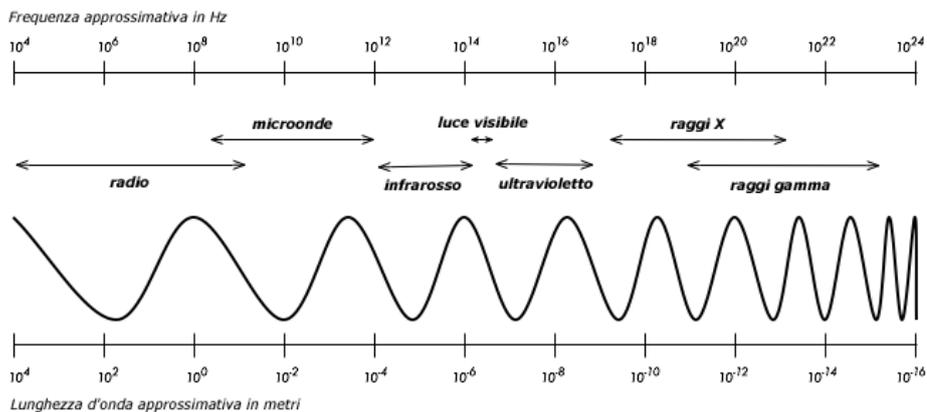


Figura 1.8: Lo spettro elettromagnetico. Si noti come le onde radio siano caratterizzate da un'elevata lunghezza d'onda.

### 1.2.1 Salto di frequenza

A determinate frequenze, si può talvolta rilevare ciò che è chiamato **salto di frequenza**. Si tratta di una specifica introdotta da norme rilasciate dalla Federal Communications Commission (FCC).



Figura 1.9: Logo della Commissione federale per le comunicazioni, un'agenzia governativa con carattere di autorità amministrativa indipendente degli Stati Uniti d'America.

Semplificando, si può dire che, per minimizzare le interferenze, si vuole evitare la trasmissione su un canale specifico per un tempo troppo lungo. All'atto pratico, il sistema radio continua a saltare da una frequenza all'altra fino a trovarne una libera; in cambio viene concessa la possibilità di trasmettere ad una potenza maggiore, la quale determina il **volume** della trasmissione radio.

In sintesi, il salto di frequenza permette:

- maggior raggio d'azione;
- non si interferisce con altri dispositivi nelle vicinanze che utilizzano la stessa frequenza occupata dal nostro dispositivo.

### 1.2.2 Funzionamento della trasmissione radio

Il funzionamento in radiofrequenza di un radiocomando è già stato precedentemente trattato, ma ora ci si vuole focalizzare sull'interazione specifica tra il trasmettitore e il ricevitore. Ipotizzando che il nostro radiocomando abbia già inviato un segnale, l'unità ricevente deve controllare che la frequenza sia quella desiderata e che i codici corrispondenti siano quelli attesi. Una volta che la sequenza è terminata, si dice che si è verificata una *handshake*, ovvero una stretta di mano tra i due dispositivi comunicanti. In tal caso, il ricevitore, decodifica il messaggio, lo interpreta ed invia il comando corrispondente ad un relé (fig. 1.10) che viene attivato.

Un relé è molto simile ad un interruttore, ma controllato da una corrente, invece che da un comando fisico. Quando si attiva, la corrente fluisce attraverso il relé e, tramite un cavo collegato, ad esempio,

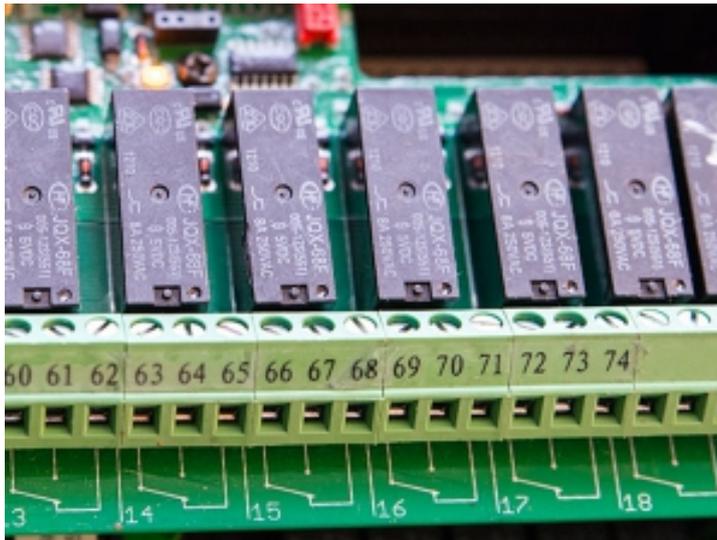


Figura 1.10: Un ricevitore con i relé e la morsettiera.

il comando viene trasferito ad un motore di direzione della gru a ponte, la quale si avvia e muove il carro ponte finché si tiene premuto il pulsante del comando corrispondente.

Da notare che, in sistemi così complessi come una gru a ponte possono servire fino a 12 relé per controllare gli spostamenti in tutte le direzioni utili; mentre in un radiocomando che governa l'apertura e la chiusura di un cancello, ne bastano due.

### 1.2.3 Interferenze e sicurezza

Poiché nell'aria vi sono moltissime onde radio, come già visto, si dovrà porre particolare attenzione alle **interferenze**. In buona sostanza, a seguito di un'interferenza, si assisterà ad una perdita di controllo dovuta al fatto che due messaggi, trasportati da un segnale con la stessa lunghezza d'onda, si possano scontrare, cambiando dei bit e rendendo, di conseguenza, illeggibile ciò che si aspetta l'unità ricevente. Dato che, però, quest'ultima è in attesa di codici binari specifici, nascosti nel segnale radio, questo problema viene superato.

Un altro ostacolo si può incontrare qualora un segnale venga trasmesso a volume più alto perché, in tal caso, il ricevitore non riesce più a captare ciò che si aspetta, generando un'**interruzione** della comunicazione. Mentre, per quanto riguarda i telecomandi TV o quelli dei giocattoli, il **danno potenziale** è particolarmente basso, in un contesto industriale, in cui sono presenti ambienti con elevato rischio per l'operatore ed in cui vengono eseguite azioni pericolose, il **disturbo operativo** può portare a gravi conseguenze.

Per quanto concerne la sicurezza del radiocomando, che verrà ana-



Figura 1.11: Tipico utilizzo di un radiocomando industriale.

lizzata anche in seguito, si fa riferimento alla norma UNI EN ISO 13849-1 - Sicurezza dei sistemi di comando. Brevemente, si andrà ad attribuire un **PL**, che indica l'efficienza e l'affidabilità con cui un sistema di sicurezza è in grado di eseguire una funzione di sicurezza in condizioni prevedibili. Sono disponibili cinque livelli di prestazioni: a, b, c, d, e. Il valore **PL<sub>e</sub>** indica il livello più alto di affidabilità del sistema di sicurezza, mentre il valore **PL<sub>a</sub>** indica quello più basso. Di seguito viene riportata la tabella 3 della norma sopra citata in cui la classe **PL** viene determinata in funzione della probabilità media di guasto per ora.

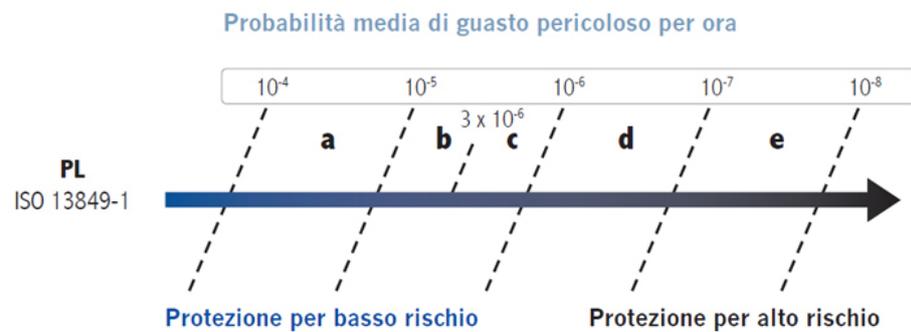


Figura 1.12: Tabella 3 di ISO 13849-1.

Nel capitolo seguente verranno discusse tutte le norme utili al fine di determinare le caratteristiche e le specifiche progettuali che dovranno caratterizzare il tipico radiocomando industriale.

## RADIOCOMANDI INDUSTRIALI DI SICUREZZA: ANALISI NORMATIVA

### 2.1 INTRODUZIONE

Come già accennato in precedenza, nei tipici ambienti lavorativi in cui é presente un **rischio elevato per l'operatore** come ad esempio nei cantieri navali e nelle catene di montaggio, é possibile l'utilizzo di un sistema di comando caratterizzato da una soluzione wireless.

Risultano molteplici le motivazioni che spingono sempre di piú, negli ultimi anni, ad optare per un controllo senza fili, tra cui si ha (fig. 2.1):

- assenza di vincoli fisici tra l'operatore ed il carico da sollevare;
- l'operatore é libero di scegliere la posizione migliore per osservare lo spostamento della macchina, istante per istante, sino alla conclusione della movimentazione;
- la postazione di controllo risulta lontana da rumori, vibrazioni, pericoli, scosse elettriche.

Tutto ciò contribuisce a conferire una **maggiore sicurezza** per l'operatore.



Figura 2.1: Vantaggi nell'utilizzo di radiocomandi industriali.

Per definizione un **radiocomando industriale con funzioni di sicurezza** é composto da:

- un' unità trasmittente portatile dalla quale l'operatore comanda la macchina;
- un' unità ricevente installata a bordo della macchina

ed il collegamento tra le due unità é di tipo radioelettrico.

La trasmissione a radiofrequenza é, per definizione, un processo probabilistico che si basa su un mezzo trasmissivo dalle caratteristiche estremamente variabili. Ecco quindi specificata l'utilità nel dover andar ad analizzare, per esempio, le norme dello European Telecommunications Standards Institute (ETSI) in cui viene dichiarato il modo in cui un segnale deve essere trasmesso, il range di frequenze utilizzabili e le caratteristiche principali di trasmettitore e ricevitore.

Risulta possibile utilizzare un radiocomando nelle macchine o negli insiemi di macchine quando:

- é richiesto un comando remoto con caratteristiche sicurezza (protezione dai guasti);
- esse sono azionate elettricamente od elettroidraulicamente.

Di seguito vengono riportate le principali norme e direttive di riferimento che verranno analizzate nei prossimi capitoli.

#### **DIRETTIVE:**

- [RTTE 99/05/EC](#), sostituita dalla [RED 2014/53/UE](#) entrata in vigore il 13 giugno 2016 e diventata obbligatoria dal 13 giugno 2017 con il D.Lgs 128/2016;
- Direttiva Bassa Tensione, conosciuta anche come Low Voltage Directive ([LVD](#)) 2014/35/UE resa obbligatoria dal 20 aprile 2016 grazie al D.Lgs 86/2016;
- Direttiva Compatibilità Elettromagnetica, conosciuta anche come Direttiva [EMC](#) 2014/30/UE diventata obbligatoria dal 20 aprile 2016 attraverso il D.Lgs 80/2016;
- Direttiva Macchine 2006/42/CE attuata il 6 marzo 2010 dal D.Lgs 17/2010.

#### **PRINCIPALI NORME TECNICHE:**

- EN300-220-2 (radio): Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz. Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU for non specific radio equipment;
- EN301-489-3: [EMC](#) standard for radio equipment and services.; EN61000-6-2, -6-3: Electromagnetic Compatibility;
- EN60950: Apparecchiature per la tecnologia dell'informazione Sicurezza; IEC 62479:2010: Assessment of the compliance of low-power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz);

- Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) EN60204-32: Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine. Parte 32: Prescrizioni per le macchine di sollevamento. ; EN60204-1: Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine. Parte 1: Regole generali; CEI EN50178: Apparecchiature elettroniche da utilizzare negli impianti di potenza ; EN13557: Cranes - Controls and Control Stations;
- EN60529: Grado di protezione IP degli involucri; EN60068-2-1, -2-2, -2-6, 2-27, -2-29, -2-30, -2-64:Environmental testing.

## 2.2 I REQUISITI ESSENZIALI DI SICUREZZA DEI RADIOCOMANDI INDUSTRIALI

La Direttiva Macchine 2006/42/CE, recepita come legge dal DLgs 27/1/2010 n. 17, stabilisce regole per ottemperare ai Requisiti Essenziali di Sicurezza (**RES**), ovvero corrispondenti ad un livello di sicurezza al di sotto del quale non é consentito scendere. I requisiti definiti all'interno della direttiva riguardano non solo la macchina nella sua interezza, ma anche parti di essa, come i **sistemi di comando**.

La conformità di questi **RES** é quindi un obbligo di legge, non una scelta del costruttore. Infatti quest'ultimo potrebbe decidere di seguire delle norme armonizzate, la cui rispondenza é condizione sufficiente, ma non necessaria per la rispondenza della direttiva. A titolo d'esempio, se si decide di seguire la norma EN 60204-1 per l'equipaggiamento elettrico delle macchine, automaticamente si rispetterà buona parte dei **RES** della Direttiva macchine.

In definitiva, **un radiocomando industriale di sicurezza deve essere progettato e costruito in conformità a questi RES.**

Come riportato nell'Allegato I al capitolo 1.2 **Sistemi di Comando** al primo paragrafo:

*I sistemi di comando devono essere progettati e costruiti in modo da evitare l'insorgere di situazioni pericolose. In ogni caso essi devono essere progettati e costruiti in modo tale che:*

- *resistano alle previste sollecitazioni di servizio e agli influssi esterni;*
- *un'avaria nell'hardware o nel software del sistema di comando non crei situazioni pericolose;*
- *errori della logica del sistema di comando non creino situazioni pericolose;*
- *errori umani ragionevolmente prevedibili nelle manovre non creino situazioni pericolose.*

*Particolare attenzione richiede quanto segue:*

- *la macchina non deve avviarsi in modo inatteso;*
- *i parametri della macchina non devono cambiare in modo incontrollato, quando tale cambiamento può portare a situazioni pericolose;*
- *non deve essere impedito l'arresto della macchina, se l'ordine di arresto è già stato dato;*
- *nessun elemento mobile della macchina o pezzo trattenuto dalla macchina deve cadere o essere espulso;*

- *l'arresto manuale o automatico degli elementi mobili di qualsiasi tipo non deve essere impedito;*
- *i dispositivi di protezione devono rimanere pienamente efficaci o dare un comando di arresto;*
- *le parti del sistema di controllo legate alla sicurezza si devono applicare in modo coerente all'interezza di un insieme di macchine e/o di quasi macchine.*

*In caso di comando senza cavo deve essere attivato un arresto automatico quando non si ricevono i segnali di comando corretti, anche quando si interrompe la comunicazione.*

Da questo estratto si capisce come sia di vitale importanza il fatto che il radiocomando industriale di con funzioni di sicurezza debba garantire determinati requisiti essenziali, in modo tale da evitare il verificarsi di situazioni pericolose in quanto potrebbero determinare un danno per l'operatore.

Inoltre si va a studiare il caso del comando senza fili, in cui viene espressamente richiesto di prevedere un arresto automatico della macchina, detto **arresto passivo**, in presenza di un segnale di comando errato o quando la comunicazione viene interrotta. Questi concetti verranno richiamati anche nelle EN 60204-1 e 60204-32 come si vedrà in seguito.

Sempre per quanto concerne l'arresto della macchina, troviamo nel medesimo allegato, al capitolo 3.3.3 un'altra importante caratteristica:

*Le macchine dotate di telecomando devono disporre di sistemi atti ad azionare automaticamente e immediatamente l'arresto e a prevenire il funzionamento potenzialmente pericoloso nelle situazioni seguenti:*

- *quando il conducente ne ha perso il controllo;*
- *quando viene ricevuto un segnale di arresto;*
- *quando viene individuata un'avaria in un elemento del sistema di controllo legato alla sicurezza;*
- *quando un segnale di convalida non è stato rilevato entro un termine specificato.*

Vengono riportati, quindi, quattro casi in cui deve essere previsto un arresto immediato e completamente in autonomia della macchina, al fine di **evitare conseguenti eventi pericolosi**. Vengono esplicitati degli errori di trasmissione e/o ricezione del messaggio che devono generare un arresto sicuro. In particolar modo, se si pensa ad un ambito molto disturbato, come quello industriale, è altamente probabile che un messaggio possa non essere ricevuto dall'unità ricevente proprio perchè, durante il tragitto, esso sia stato modificato nel suo significato

in termini di bit che lo compongono. Inoltre risulta interessante riflettere sulla perdita di controllo da parte dell'operatore. La macchina deve essere in grado di riconoscere quando passa da uno stato controllato di sicurezza ad uno stato in cui vengono a mancare i requisiti per l'operatività; a quel punto dovrà essere in grado di arrestarsi in completa autonomia dato che l'operatore non sarebbe in grado di inviare un comando di arresto.

Un'altra caratteristica che, secondo la Direttiva macchine, deve essere garantita per sistemi controllati da radiocomandi industriali di sicurezza, riguarda l' **unicità della corrispondenza uomo-macchina**. Il paragrafo 3.3 dell'allegato I, tratta i requisiti essenziali di sicurezza supplementari per ovviare ai pericoli dovuti alla mobilità delle macchine, sui **sistemi di comando**, si riporta:

*Se necessario, vanno previsti sistemi atti ad impedire l'uso non autorizzato dei comandi.*

*Nelle macchine dotate di telecomando, ogni unità di comando deve indicare chiaramente quali siano le macchine che essa è destinata a comandare.*

*Il sistema di telecomando deve essere progettato e costruito in modo da influenzare soltanto:*

- *la macchina in questione;*
- *le funzioni in questione.*

*Le macchine dotate di telecomando devono essere progettate e costruite in modo da rispondere unicamente ai segnali delle unità di comando previste.*

In breve, l'unicità della corrispondenza uomo-macchina è garantita se e solo se si conosce, istante per istante quale stazione di controllo senza fili sta controllando una certa macchina. Quindi si dovrà cercare di apporre una segnalazione luminosa, per esempio, che identifichi la stazione operatrice che effettivamente ha il solo controllo della macchina e delle funzioni corrispondenti.

L'unicità, inoltre, deve essere garantita anche nella comunicazione wireless. Ovvero, un sistema wireless deve sempre garantire un collegamento radioelettrico sicuro grazie alle caratteristiche riportate in tab. 2.1.

L'importanza della segnalazione della presenza di un comando senza filo non è affatto da sottovalutare, soprattutto se si pensa ad ambienti in cui avvengono spostamenti di carichi pesanti ed in cui l'operatore potrebbe essere soggetto a schiacciamento od urti. Questa necessità è data dal fatto che, in tali condizioni, è necessario far capire al personale che transita in quella zona ad alto rischio, non vi è una diretta interazione dell'operatore con la macchina.

MACCHINA	FUNZIONI	A CARICO DEL ...
La comunicazione radioelettrica deve essere <b>codificata tramite un codice</b> (address) che deve essere <b>unico e univoco</b> (diverso da tutti gli altri esistenti e prodotto una sola volta) e possibilmente <b>non riproducibile</b> .		... <b>costruttore del comando senza cavo</b>
///	<b>CABLAGGIO CORRETTO</b>	... <b>costruttore e/o installatore della macchina</b>

Tabella 2.1: Caratteristiche di un collegamento radioelettrico sicuro.

Nell' Allegato I al paragrafo 3.6.1, infatti, la direttiva riporta:

*Le macchine dotate di telecomando, le cui condizioni di impiego normali espongono le persone a rischi di urto o di schiacciamento, devono essere munite di mezzi adeguati per segnalare i loro spostamenti o di mezzi per proteggere le persone contro tali rischi.*



Figura 2.2: Esempio di segnalatore luminoso e segnalatore acustico.

La segnalazione, quindi, non sempre é obbligatoria, ma solo se "le condizioni di impiego normali espongono le persone a rischi di urto o di schiacciamento". Si evince, dunque, l'importanza dell'**analisi dei rischi** della macchina in funzione dell'**applicazione** e dell'**ambiente in cui opera**.

A seguito di questo passaggio, non solo le zone altamente pericolose dovranno essere delimitate da opportune segnalazioni, ma si dovrà, inoltre, informare l'operatore della presenza di carichi pesanti, in movimento, spostati da macchine comandate da remoto e, quindi, con probabilità di caduta non trascurabile. Chiaramente una segnalazione luminosa, posta sulla stazione di comando che sta attualmente comandando la macchina a distanza, riesce a catturare l'attenzione dell'operatore che deve transitare nella zona di movimentazione. A tal fine, quest'ultimo sarà avvisato e dovrà attendere il termine dell'operazione prima di muoversi o si vedrà costretto a scegliere un

percorso alternativo eventualmente indicato nelle vicinanze.

Per quanto riguarda la gestione dell'**arresto attivo**, si deve far riferimento all'art. 1.2.4 dell'allegato I. Per definizione, questo tipo di fermata della macchina deve essere richiesta dall'operatore ed avvenire in completa sicurezza e viene suddivisa in tre categorie:

- **Arresto normale:** comando che consente l'arresto generale in condizioni di sicurezza, avente priorità sui comandi di avviamento. Ottenuto l'arresto della macchina o delle sue funzioni pericolose, si deve interrompere l'alimentazione.
- **Arresto operativo:** comando di arresto che non interrompe l'alimentazione degli azionatori, la condizione di arresto deve essere monitorata e mantenuta.
- **Arresto d'emergenza:** comando di arresto che consente di evitare situazioni di pericolo che rischiano di prodursi nell'imminenza o che si stiano producendo. Si tratta di una misura che offre soluzioni di riserva ad altre misure di protezione e non deve sostituirsi ad esse.

Conseguentemente, possono essere generate delle **funzioni** che determinano la fermata in sicurezza della macchina con Safety Integrity Level (**SIL**) 3 in accordo con la IEC/EN 62061 o **PL**e in accordo con la norma UNI EN ISO 13849:

- funzione di **STOP**, intesa sia come arresto attivo in cui lo scopo è quello di portare la macchina in uno stato sicuro a seguito dell'identificazione da parte dell'operatore di una situazione pericolosa, sia come arresto passivo o automatico generato da un'emergenza che sia essa perdita di controllo della macchina o ricezione di un messaggio errato;
- funzione di protezione dello **Stato Neutro** o Unintended Movement From Standstill (**UMFS**).

Per **UMFS** si intende una situazione in cui il sistema comando-macchina genera situazioni pericolose in seguito ad azioni non volute. L'operatore, seppur correttamente addestrato, può non eseguire la funzione di STOP in modo efficace per varie ragioni:

- postazione di comando lasciata incustodita e attiva;
- solo una parte della macchina è seguita a vista;
- il pericolo non viene correttamente percepito;
- la reazione ad una situazione pericolosa non risulta adeguata o non viene eseguita in un tempo adeguato.

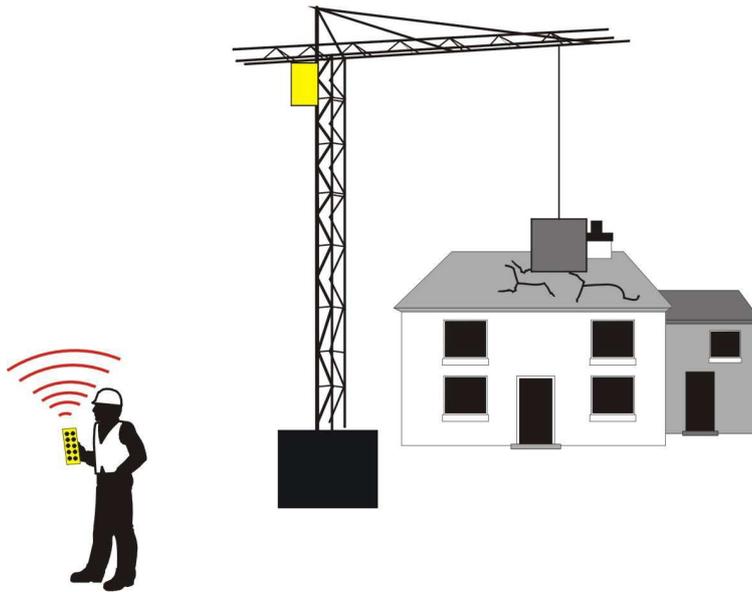


Figura 2.3: Conseguenza probabile in situazione di UMFS.

La funzione di **protezione dello Stato Neutro** è una funzione di sicurezza del radiocomando che controlla la posizione di riposo degli attuatori della macchina, come ad esempio i giunti di un carroponete. Questa protezione deve essere garantita in caso di **guasto singolo**, ovvero una prima avaria del sistema di comando non deve generare la perdita delle funzioni di sicurezza. A questo punto dovrà essere segnalata la necessità di un intervento di riparazione, affinché un secondo guasto non determini la mancanza di funzionalità.

Esistono tecniche progettuali e costruttive per garantire questo requisito tra cui:

- **contatti a rottura positiva o forzata** (vedi fig.2.4). Un contatto è ad apertura positiva quando viene aperto da uno specifico movimento dell'attuatore di commutazione, realizzato mediante elementi non elastici. Come ampiamente descritto nella CEI EN 60204-1 all'art. 3.1.3 è molto importante l'utilizzo di questo tipo di contatti per la sicurezza dei circuiti, in quanto, questi si devono trovare normalmente chiusi e si aprono all'attivazione della funzione di sicurezza. Se, in condizioni nominali, uno o più contatti rimangono incollati, e quindi chiusi, viene determinata un'azione che porta la macchina in sicurezza;
- **ridondanza**. Molto importante questo requisito soprattutto nella progettazione di moduli di centraline di sicurezza in cui si deve garantire che, in caso di malfunzionamento di uno o più interruttori, ve ne sia almeno un altro funzionante in grado di preservare le funzioni di sicurezza richieste;
- **controllo e monitoraggio**. Si rivela necessario eseguire un monitoraggio continuo della salute del sistema di arresto sicuro per

capire quando sarà necessario intervenire per garantire sempre la massima efficacia del dispositivo.

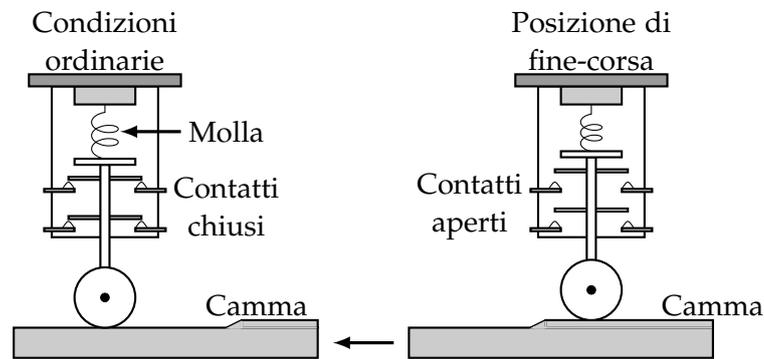


Figura 2.4: Esempio di contatto ad apertura positiva di un fine-corsa azionato da una camma.

Al paragrafo 1.2.3 dell'allegato I sui [RES](#), si parla della funzione di **avviamento**. Esplicitando, in modo particolarmente evidente, il fatto che la rimessa in moto di una macchina deve sempre essere determinata da un'azione volontaria e che, qualora dovessero generarsi situazioni pericolose, si deve provvedere all'utilizzo di un dispositivo di comando diverso da quello normalmente utilizzato. Si riporta, di seguito, l'estratto della Direttiva 2006/42/CE che esplicita, in forma estesa, i concetti appena descritti sinteticamente.

*L'avviamento di una macchina deve essere possibile soltanto tramite un'azione volontaria su un dispositivo di comando previsto a tal fine.*

*Lo stesso dicasi:*

- *per la rimessa in marcia dopo un arresto, indipendentemente dall'origine;*
- *per l'effettuazione di una modifica rilevante delle condizioni di funzionamento.*

*Tuttavia, purché ciò non generi situazioni pericolose, la rimessa in marcia o la modifica delle condizioni di funzionamento può essere effettuata tramite un'azione volontaria su un dispositivo diverso dal dispositivo di comando previsto a tal fine.*

*Per le macchine a funzionamento automatico, l'avviamento della macchina, la rimessa in marcia dopo un arresto o la modifica delle condizioni di funzionamento possono essere effettuati senza intervento esterno, se ciò non produce situazioni pericolose.*

*Quando la macchina è munita di vari dispositivi di comando dell'avviamento e gli operatori possono pertanto mettersi mutuamente in pericolo, devono essere installati dispositivi supplementari per eliminare tali rischi. Se per ragioni di sicurezza l'avviamento e/o l'arresto devono essere effettuati in una sequenza specifica, opportuni dispositivi devono garantire che queste operazioni siano eseguite nell'ordine corretto.*

### 2.3 CEI EN 60204: SICUREZZA DEL MACCHINARIO

Di seguito verranno analizzati i contenuti delle norme **CEI EN 60204-1** e **60204-32** in materia di radiocomandi industriali di sicurezza. Sono entrambe *norme armonizzate* della direttiva macchine trattata in precedenza, ma mentre la prima è di **carattere generale**, la seconda si riferisce al campo specifico delle **macchine per sollevamento**. Altro aspetto di rilevante importanza e che aiuta ad interpretare la validità ed il campo di applicazione delle varie norme armonizzate è definito dal **tipo**. Nel nostro caso:

- la 60204-1 è una norma di tipo **B1**. In sostanza riguarda aspetti specifici della sicurezza applicabili ad una grande varietà di macchine. Ad esempio, utile per i nostri scopi, sarà la parte dedicata alla gestione della comunicazione senza filo sicura;
- la 60204-32 è di tipo **C**, ovvero si tratta della categoria delle norme di prodotto. Infatti si andrà ad analizzare la sicurezza dei radiocomandi nelle macchine per sollevamento, ove sono quasi sempre richiesti.

Al paragrafo 9.2.4 della parte di Regole generali, si trova quanto segue:

*Se è necessario sospendere le funzioni di sicurezza e/o le misure di protezione (per es., per necessità di regolazione o manutenzione), la protezione deve essere assicurata mediante:*

- *disabilitazione di tutte le altre modalità di funzionamento (comando); e*
- *altri mezzi relativi che possono comprendere, per es., una o più delle misure seguenti:*
  - *inizio del movimento mediante dispositivo di comando ad azione mantenuta o equivalente;*
  - *postazione di comando portatile con un dispositivo di arresto di emergenza e, se necessario, un dispositivo di consenso. Se è in uso una postazione portatile, la partenza può essere comandata solo da tale postazione;*
  - *postazione di comando senza fili con un dispositivo per avviare le funzioni di arresto, in conformità a 9.2.7.3, e, se necessario, un dispositivo di consenso. Se è in uso una postazione senza fili, la partenza può essere comandata solo da tale postazione;*
  - *limitazione della velocità o della potenza di movimento;*

– *limitazione dell'ampiezza del movimento.*

Da quanto letto, si capisce che l'attenzione è focalizzata sulla **sospensione della funzione d'arresto**, ma è di nostro interesse analizzare la parte sui comandi senza fili. In caso di decadenza voluta di una funzione di sicurezza, ad esempio per operazioni di manutenzione, per assicurare una protezione corretta si deve prima di tutto disabilitare ogni altra modalità di funzionamento perchè, così facendo, si va a ridurre la probabilità di un evento dannoso causato da altre componenti della macchina. Poi, per quanto concerne il caso particolare del radiocomando, relativamente alla postazione di controllo dell'operatore, si prescrive la presenza di un dispositivo con funzione d'arresto, specificata al paragrafo 9.2.7.3, che verrà analizzato in seguito, accompagnato da un dispositivo di consenso.

Questo è di notevole importanza se si pensa al fatto che, per questioni di sicurezza, a seguito di un arresto voluto con motivazioni giustificate, si deve procedere al consenso, se necessario ove ci sia la possibilità della trasmissione di una fermata non voluta.

Il paragrafo 9.2.7 viene intitolato proprio **Comandi senza fili**. In sintesi, si dice che in quella parte di norma verranno effettuate delle prescrizioni funzionali di sistemi di comando che utilizzano tecnologie senza fili, ad esempio radio ed infrarossi, per trasmettere comandi e segnali tra un sistema di comando della macchina e una o più postazioni di comando dell'operatore. Viene specificato anche che, in caso di necessità, si richiede la fornitura di mezzi (come interruttori a chiave (fig. 2.5) o codici di accesso) per **impedire l'accesso non autorizzato** alla postazione di comando dell'operatore. Inoltre deve essere **opportunamente identificato** quale stazione esercita attualmente il controllo su quale/i macchina/e.

#### **9.2.7.2 Limitazione di comando**

*Si devono adottare misure per garantire che i comandi:*

- *agiscano solo sulla macchina interessata;*
- *agiscano solo sulle funzioni interessate.*

*Devono essere adottate misure per evitare che la macchina risponda a segnali diversi da quelli provenienti dalla postazione di comando dell'operatore prevista.*

*Se necessario, si devono fornire mezzi affinché la macchina possa essere controllata dalle postazioni di comando dell'operatore solamente in una o più zone o luoghi prestabiliti.*

Si deve, dunque, evitare che ad una certa macchina arrivino segnali da una qualunque altra postazione di comando operatore che non sia



Figura 2.5: Precauzioni per impedire l'accesso non autorizzato: interruttore a chiave

quella in origine assegnata a quella macchina. Non si fa solamente riferimento a comandi provenienti da un'altra postazione, ma a tutti gli altri segnali radio che non devono interferire nell'interazione uomo-macchina a distanza. Infine viene specificato che, in caso ci fosse la necessità di dover controllare da più postazioni, saranno quest'ultime che dovranno essere dotate delle corrette apparecchiature di comando senza fili.

Come già parzialmente descritto nella direttiva macchine, essendo essa una sua norma armonizzata, nella 60204-1 si tratta anche tutta la parte relativa all'**arresto** della macchina automatica controllata dal radiocomando industriale di sicurezza.

In particolare, viene enfatizzato nuovamente il concetto riguardante la presenza di un dispositivo aggiuntivo dedicato esclusivamente alla fermata in sicurezza della macchina. Attenzione, però, che, non essendo questi dispositivi di arresto d'emergenza, non devono essere marcati come tali.

### **9.2.7.3 Arresto**

*Le postazioni di comando senza cavi devono prevedere un dispositivo separato e chiaramente identificabile per attivare la funzione di arresto della macchina o di tutte le operazioni che possono causare una condizione di pericolo. Gli attuatori di tale funzione di arresto non devono essere marcati o etichettati come dispositivi di arresto di emergenza, (vedi 10.7).*

E, quindi non dovranno avere i colori tipici, dettati dalla ISO 13850, che caratterizzano un fungo d'emergenza, rosso su sfondo giallo, ma semplicemente dovranno essere chiaramente identificabili, solamente

di colore rosso (fig. 2.6), e sempre accessibili.



Figura 2.6: Pulsante di arresto. Differenze tra un pulsante di arresto e uno di arresto d'emergenza.

*Una macchina equipaggiata di comando senza fili deve avere un mezzo di attivazione automatica dell'arresto della macchina e di prevenzione di funzionamento potenzialmente pericoloso, nelle situazioni che seguono:*

- *quando è ricevuto un segnale di arresto;*
- *quando è rilevata un'avaria nel sistema di comando senza fili;*
- *quando non è stato rilevato alcun segnale valido (compreso un segnale di conferma che la comunicazione è stabilita e mantenuta) entro un periodo di tempo specificato (vedere Allegato B), tranne nel caso in cui una macchina stia eseguendo un compito programmato in precedenza al di fuori del campo del comando senza filo, e sempre che non si possano verificare condizioni di pericolo.*

Dall'analisi di questo estratto della norma, si ritrova la volontà di ribadire il concetto di **arresto passivo** della macchina. Il radiocomando deve essere dotato di un meccanismo che protegge l'operatore da effetti indesiderati e, quindi, in grado di fermare il sistema nelle situazioni descritte al passo precedente.

L'arresto automatico della macchina deve essere garantito anche in caso di comunicazione errata. Essa può essere determinata da un messaggio diverso rispetto a quello che si sarebbe aspettata l'unità ricevente, quindi con dei bit che lo rendono privo di significato, oppure se il messaggio non viene ricevuto in un tempo ritenuto accettabile. Per quanto concerne, per l'appunto, il **tempo d'intervento**, si richiede di consultare l'**Allegato B** in cui viene specificato un **massimo pari a 0.5 s** e che, in caso questo fosse un intervallo troppo breve per l'applicazione in opera, lo si può estendere fino a **2 s**.

Al paragrafo 9.2.7.4 si studia il caso in cui vi siano più stazioni di comando per una singola macchina.

*Se una macchina ha più di una postazione di comando dell'operatore, compresa una o più stazioni di comando senza fili, si devono adottare misure per garantire che solo una postazione di comando possa essere abilitata in un determinato momento. Deve essere fornita nei luoghi adeguati un'indicazione sulla postazione di comando dell'operatore che ha controllo della macchina, in funzione della valutazione del rischio della macchina.*

Si evidenzia il fatto che una certa **concorrenza** delle stazioni di controllo aventi la facoltà di comandare una macchina debba essere assolutamente regolata in quanto potrebbe portare alla realizzazione di eventi altamente pericolosi. Ecco quindi la necessità di indicare sempre chiaramente, istante per istante, quale sia la stazione che sta effettivamente controllando la macchina automatica in questione.

Per suddetta segnalazione si potrebbe immaginare ad un'**indicazione lampeggiante** che l'operatore sarà obbligato ad attivare, una volta effettuato l'accesso alla postazione di comando; oppure, la medesima luce potrebbe essere attivata dalla pressione di un tasto previsto nello stesso radiocomando in uso.

Nel medesimo paragrafo si riporta un'eccezione che merita una particolare considerazione. Si esplicita, infatti, che, per quanto riguarda l'arresto, tutte le stazioni dedicate ad una macchina potranno sulla stessa in caso dell'identificazione di un evento pericoloso, sempre se richiesto dalla valutazione del rischio.

#### **9.2.7.5 Postazioni di comando dell'operatore alimentate mediante accumulatore.**

*Una variazione di tensione dell'accumulatore non deve provocare una condizione di pericolo. Se uno o più movimenti potenzialmente pericolosi sono comandati mediante una postazione di comando senza fili dell'operatore alimentata da accumulatore, l'operatore deve essere avvertito, mediante una chiara indicazione, qualora una variazione della tensione dell'accumulatore superi limiti specificati. In tali circostanze, la postazione di comando senza fili dell'operatore deve rimanere operativa per un periodo sufficiente a consentire all'operatore di mettere la macchina in una condizione non pericolosa.*

A cui si aggiunge una nota della 60204-32, nel caso di macchine di sollevamento:

*NOTA Generalmente è accettabile un arco temporale di 10 min.*

Può essere che l'alimentazione della singola stazione di comando sia disaccoppiata dall'alimentazione del luogo di lavoro. In tal caso

occorre ricorrere all'utilizzo di un **accumulatore** indipendente dalla rete di distribuzione; tuttavia quest'ultimo potrebbe essere soggetto a variazioni di tensione che non devono superare certi limiti certificati. Nel caso in cui questi potrebbero essere superati, l'operatore dovrà avere il tempo utile per portare il sistema in una condizione di sicurezza, tale da non recare alcun danno. A quel punto si procederà al ripristino dell'unità di alimentazione allo scopo di riprendere la normale attività.

### 2.3.1 Aggiornamenti apportati dalla IEC 60204-1

Tutte le specifiche appena riportate fanno parte della norma italiana pubblicata nel **settembre 2006**. Si nota come ne sia stato pubblicato un aggiornamento dalla International Electrotechnical Commission (**IEC**) nel **gennaio 2014** con la norma 60204-1:2014 che presenta interessanti novità dal punto di vista dei radiocomandi industriali di sicurezza. Osservando incrementare sempre più l'utilizzo di questi dispositivi nell'ambito industriale, si è deciso di approfondire soprattutto le parti riguardanti l'**affidabilità della comunicazione**, nonché tutte le prescrizioni in presenza di più stazioni di controllo senza fili, non trascurando il nuovo paragrafo sulle stazioni portatili.

Al capitolo 9.2.3 si trova la sezione "*Cables control*" in cui si legge:

*I requisiti di affidabilità della trasmissione devono essere necessariamente certificati per funzioni di sicurezza di una Cables Control System (CCS) che si affida ad una trasmissione dati (per esempio, ARRESTI ATTIVI dovuti ad azioni di sicurezza, comandi di motion).*

*La CCS deve avere funzionalità e un tempo di risposta adeguati per l'applicazione in oggetto, determinati in base all'analisi dei rischi.*

E' richiesto, dunque, di verificare che il radiocomando, o **CCS**, abbia le caratteristiche essenziali per garantire una trasmissione sicura per le funzioni di sicurezza e, come già presente nella vecchia revisione, il tempo di risposta deve essere adeguatamente piccolo.

Nelle Note 2 e 3 la norma ci rimanda ad altre normative molto recenti che verranno riprese nei capitoli successivi.

### 9.2.3.2 Abilità di un sistema di controllo senza fili di controllare una macchina

*La capacità da parte di una CCS nel controllare una macchina deve essere automaticamente monitorata, o in modo continuativo o ad intervalli adatti. Questa abilità deve essere chiaramente*

*te indicata (per esempio da un'indicazione luminosa, da una segnalazione visiva in un display, ecc.).*

Questa parte è stata aggiunta alla vecchia norma e stabilisce che ci deve essere un **continuo monitoraggio della comunicazione** o, comunque, ad intervalli adatti all'applicazione e che, l'abilità da parte del comando senza fili di comunicare deve essere segnalata da una segnalazione luminosa o da un messaggio in un display.

*Se il segnale della comunicazione è degradato in modo tale da determinare la perdita della facoltà della CCS di controllare la macchina (come ad esempio livello di segnale ridotto, basso livello di batteria), deve essere trasmesso all'operatore un warning prima che la CCS perda l'abilità di controllare la macchina.*

Un'accortezza anche per quanto concerne la **qualità della comunicazione**. Se il segnale dovesse risultare abbastanza degradato, in modo tale da far decadere la facoltà da parte della CCS di controllare una macchina, si deve assolutamente ed immediatamente inviare un avviso (*warning*) all'operatore in modo tale che provveda a portare il sistema in uno stato sicuro.

*Quando la facoltà da parte della CCS di controllare una macchina è stata persa per un certo intervallo temporale determinato da un'analisi dei rischi sull'applicazione, deve essere generato uno stop automatico della macchina (ARRESTO PASSIVO). In alcuni casi, per esempio, per evitare la generazione di questo arresto automatico recante una condizione altamente pericolosa, può essere necessario portare la macchina ad uno stato sicuro predeterminato prima dell'arresto.*

*Il ripristino della facoltà da parte della CCS di controllare una macchina non deve riavviare la macchina. Il restart della macchina deve richiedere un'azione deliberata dell'operatore, ad esempio la pressione di un pulsante di avvio.*

Come detto in precedenza, se la macchina non riceve segnali per un determinato arco temporale stabilito dall'analisi del rischio, deve essere avviata la procedura di **arresto passivo**; tuttavia vi possono essere dei casi in cui, se il sistema si fermasse, si potrebbero generare situazioni pericolose e, quindi, si deve prevedere uno stato sicuro in cui la macchina dovrà portarsi prima dell'arresto.

Si enfatizza poi molto il concetto della ripartenza (*restart*). Il ripristino delle proprietà del CCS NON deve riavviare la macchina; quest'ultima dovrà essere un'azione esercitata dall'operatore, per esempio, attraverso la pressione di un pulsante.

Per capire meglio questo concetto, si ricordino le regole di programmazione di una macchina automatica attraverso un Programmable Logic Controller (PLC). A seguito di un arresto di emergenza, per

ripristinare il collegamento con l'alimentazione e quindi per andare a chiudere il teleruttore di potenza, si deve resettare la macchina premendo un pulsante che, solitamente, è di colore blu e lampeggia quando può essere premuto.

Per quanto concerne poi l'utilizzo di **stazioni operatore multiple** per il controllo senza fili, il focus si sposta sul trasferimento del controllo da una stazione ad un'altra con tutti i problemi che possono essere generati.

- *ad un certo istante temporale, solo una stazione deve essere abilitata, se non quando necessario per l'operato della macchina;*
- *il trasferimento del controllo da una CCS all'altra deve richiedere un'azione deliberata dalla stazione che sta controllando la macchina;*
- *durante l'operatività della macchina, il trasferimento del controllo è possibile solo se entrambe le CCS sono impostate nello stesso modo operativo e/o nella/e stessa/e funzione/i della macchina;*
- *il trasferimento del controllo non deve modificare il modo operativo e/o la/e funzione/i della macchina;*
- *ogni CCS che ha il controllo sulla macchina deve essere provvista di un'indicazione che lo specifica (come ad esempio un'indicazione luminosa od una segnalazione visiva in un display);*

Risultano essere davvero molte le accortezze da adottare in caso di stazioni multiple. A partire dal fatto che, nel caso in cui si debba trasferire il comando da una stazione ad un'altra, è richiesta un'azione volontaria da parte dell'operatore della stazione che ha il controllo. Poi, si evince che, al fine di eseguire il trasferimento del controllo, le due stazioni di controllo devono aver impostato il medesimo modo di controllo o la medesima funzione della macchina. Questo per evitare che ci siano "salti" del sistema che possono determinare la caduta di un carico, ad esempio, trasportato da un carroponte.

Come già accennato, un altro aspetto che è stato introdotto dalla nuova revisione, riguarda le **stazioni di controllo portatili**.

#### **9.2.3.5 Stazioni di controllo operatore senza fili portatili.**

*Le CCS portatili senza fili devono avere mezzi di prevenzione contro l'uso non autorizzato (come ad esempio interruttori a chiave, codici di accesso ecc).*

*Ogni macchina deve prevedere un dispositivo che indichi il controllo da parte di una CCS portatile senza fili.*

*Quando una CCS portatile senza fili può essere connessa a più di una macchina, deve essere previsto un mezzo per selezionare a quale/i macchina/e ci si vuole connettere. La selezione di una macchina non deve comportare l'inizializzazione dei comandi di controllo.*

Oltre alle soluzioni riguardo l'accesso non autorizzato, peraltro già riportate nella vecchia revisione, si enfatizzano **accorgimenti da apportare a bordo macchina**. Infatti viene richiesta una segnalazione da parte della macchina quando la stessa si trova sotto il controllo di una stazione portatile senza fili.

Per quanto riguarda la progettazione del radiocomando industriale di sicurezza, invece, si richiede la presenza di pulsanti che permettano all'operatore di scegliere quale macchina comandare, nel caso in cui una stazione possa controllare più macchine automatiche.

Di seguito viene riportato quanto al paragrafo 9.2.3.6 che tratta la disattivazione di stazioni di comando portatili.

*Le CCS portatili devono essere disabilite nel momento in cui non stanno controllando alcun equipaggiamento elettrico. Se disabilitata sotto controllo, la macchina associata a quella CCS deve seguire degli algoritmi di arresto passivo, in autonomia a causa della mancata comunicazione con la CCS, come visto in 9.2.3.2. Se dovesse essere necessario interrompere la comunicazione senza fermare la macchina, devono essere previsti mezzi (per esempio nella stazione di controllo operatore senza fili) per trasferire il controllo ad un'altra stazione prefissata.*

L'attenzione si sposta sul fatto che, se una stazione portatile sta attualmente controllando una macchina essa NON può essere disattivata e che, in tal caso, devono essere rispettate le specifiche al paragrafo 9.2.3.2 precedentemente trattato. Si può disabilitare suddetta stazione se e solo se non sta controllando nessun equipaggiamento elettrico. Tuttavia può essere a volte necessario disabilitare senza fermare l'operatività della macchina; a questo punto si deve trovare il modo di trasferire il comando ad un'altra stazione di controllo fissa o portatile.

Ai paragrafi 9.2.3.7 e 9.2.3.8 si tratta la fermata d'emergenza lanciata da un radiocomando. In sintesi, viene specificato che il pulsante d'emergenza posto sullo stesso non è l'unico mezzo per generare un'arresto d'emergenza della macchina automatica comandata. Inoltre:

*Se si riabilita la CCS portatile senza fili a seguito di un'emergenza, questo non deve comportare il reset dello stato di emergenza della macchina. Le istruzioni per l'uso devono stabilire che il reset di una condizione di emergency stop inizializzata da una*

*CCS portatile deve essere eseguita solo se può essere dichiarata la ragione del ripristino.*

*In funzione dell'analisi del rischio, oltre al pulsante dell'emergency stop nella CCS portatile senza fili, dovrebbe essere fornito un ulteriore dispositivo di reset fisso.*

Il reset della stazione di controllo senza fili non deve coincidere con il reset dello stato di fermata d'emergenza della macchina, il quale può essere eseguito dal radiocomando se e solo se la causa dell'emergenza è stata chiaramente identificata e corretta. In parole povere, se la macchina si ferma a causa di una situazione d'emergenza, attraverso la pressione del fungo rosso su sfondo giallo, prima di riprendere qualunque attività, resettando la macchina, deve essere certa la causa che ha generato l'arresto. In caso questa fosse già conosciuta e l'operatore riconosce che la macchina può essere riavviata in sicurezza, allora potrà procedere al ripristino senza fili.

Infine, in base anche alla valutazione del rischio, oltre all'attuatore che gestisce l'arresto d'emergenza può essere previsto uno o più dispositivi di reset **fissi**.

### 2.3.2 Caso specifico: Prescrizioni per le macchine di sollevamento

Nella **CEI EN 60204-32:2009-09** vengono riportati tutti gli accorgimenti nell'utilizzo di radiocomandi nel caso particolare di comando di macchine destinate al sollevamento di carichi molto pesanti. A tal proposito si richiama l'esempio, trattato in precedenza, delle gru comandate (fig. 2.7) da remoto oppure quello riguardante i carroporti. Questo è sicuramente il contesto più pericoloso e ad alto rischio per l'operatore, per cui vi è l'esigenza di controllare visivamente la macchina durante tutto il suo moto, dal principio al suo completamento. Ecco perchè molte delle prescrizioni qui citate sono poi state confermate nella più generica 60204-1 alla revisione del 2014.

All'interno delle Generalità si trova, in aggiunta a quanto riportato precedentemente, una definizione molto chiara ed esaustiva di ciò che rende possibile una comunicazione senza fili:

*NOTA 1 La postazione senza fili di comando dell'operatore è generalmente chiamata **trasmettitore** e la parte montata sulla macchina di sollevamento è chiamata **ricevitore**. Il ricevitore costituisce l'interfaccia con il sistema di comando e controllo della macchina di sollevamento.*

Molto interessante, invece, risulta essere il paragrafo 9.2.7.2 sulla **Limitazione di comando** in cui, in aggiunta alle caratteristiche riportate in precedenza, si specifica anche i requisiti minimi che deve avere la comunicazione tra unità trasmittente e ricevente, in particolare si dice:

*il ricevitore deve fornire comandi di funzionamento al sistema di comando e controllo della macchina di sollevamento solo quando riceve dalla postazione di comando dell'operatore pacchetti contenenti l'indirizzo esatto e il comando corretto.*



Figura 2.7: Esempio di gru radiocomandata.

Lo stesso concetto veniva ribadito nella parte introduttiva di questo documento sulla **stretta di mano (handshake)**. Infatti è richiesto un controllo aggiuntivo da parte del trasmettitore sul messaggio inviato. A tal fine, il ricevitore, una volta ricevuto un messaggio, deve confermare l'avvenuta stretta di mano rispedendo al trasmettitore l'indirizzo ed il comando che si voleva far compiere alla macchina operatrice. In caso contrario, deve essere prevista, come già visto in capitoli precedenti, una funzione di arresto passivo.

Inoltre, si legge che, a seguito di una situazione che ha generato un arresto della macchina di sollevamento, il ricevitore, deve emettere comandi di funzionamento **solo dopo** che l'azionamento della macchina abbia riportato gli attuatori nella posizione di "arresto" per un tempo adeguato, ovvero il trasmettitore deve aver inviato a quel ricevitore almeno un pacchetto di dati privo di comandi di funzionamento.

La parte sull'arresto (par. 9.2.7.3) risulta notevolmente approfondita in determinati aspetti rispetto a quanto riportato nei principi generali. Innanzitutto viene ribadito il concetto di progettare l'organo di arresto come un dispositivo **separato**, inoltre vengono esplicitate delle informazioni sulla **classificazione dell'arresto** come segue:

*L'arresto può essere di Categoria 0 o di Categoria 1 come determinato dalla valutazione dei rischi. Esso deve prevalere su tutte le altre funzioni e operazioni in qualunque modalità, e il suo riarmo non deve dare inizio a un riavviamento.*

Per quanto concerne questo passaggio, sono assolutamente dovuti degli approfondimenti che vengono localizzati al par. 9.2.2 della CEI EN 60204-1 in cui si definisce che:

- l'arresto di **categoria 0** è un arresto con interruzione immediata dell'alimentazione di potenza degli attuatori della macchina (in genere motori ed azionamenti); con questo tipo di arresto, l'energia cinetica accumulata nelle masse rotanti viene dissipata in attrito;
- l'arresto di **categoria 1** avviene mantenendo la potenza agli attuatori della macchina fino all'arresto di tutti i movimenti (arresto controllato) e sospendendo poi la potenza ad arresto avvenuto.

Un arresto in classe 0 è sicuramente più pericoloso di un arresto in classe 1. Infatti in quest'ultimo si progetta una rampa di decelerazione che, una volta ricevuto il pacchetto con il comando di arresto della macchina, viene trasmessa agli attuatori, facendo così fermare in modo sicuro tutto il sistema. Basti pensare ad un carico trasportato che, se fermato in classe 0, potrebbe oscillare cadendo a terra e rischiando di provocare danni seri per l'operatore.

Viene stabilito anche un tempo di risposta utile del sistema di comando senza fili per un comando d'arresto. Una volta trasferito il pacchetto dati dal trasmettitore al ricevitore, per avvenire, è previsto un tempo massimo di **550 ms** per il taglio della potenza e la conseguente fermata degli attuatori della macchina.

Come riportato di seguito, vi sono determinate situazioni in cui è previsto un arresto immediato della macchina, interrompendo immediatamente l'alimentazione all'interruttore:

- *quando si rileva un'avaria nel sistema di comando senza fili;*
- *quando non si è rilevato alcun segnale valido entro 0.5 s (vedere Allegato B), tranne nel caso in cui una macchina di sollevamento stia eseguendo un compito programmato in precedenza al di fuori del campo del comando senza fili, e sempre che non si possano verificare condizioni di pericolo. Per le applicazioni nelle quali 0.5 s rappresenta un tempo troppo breve, tale valore può essere incrementato fino ad un massimo di 2 s. L'utilizzo previsto della macchina di sollevamento deve essere valutato per accertare che l'aumento di tale valore di tempo non comporti ulteriori rischi. L'interruzione dell'alimentazione dell'interruttore della gru può essere posticipata per non più di 5 min,*

*purchè l'avvio di un arresto sia assicurato monitorando lo stato del sistema di comando e controllo.*

Certamente una situazione pericolosa è determinata da un'avaria che può esserci nel sistema di comando, solitamente legata o ad un'assenza di segnale, oppure allo scaricamento delle batterie del radiocomando, il quale non rende più possibile nessuna operazione di invio/ricezione di pacchetti.

L'altra situazione pericolosa, invece, può essere scaturita da mancata rilevazione di segnali validi: se, entro 0.5 s non si dovesse ricevere alcun comando valido, è previsto un'arresto immediato della macchina perchè si potrebbe incorrere in situazioni di pericolo causate da movimenti inattesi. Si cita anche la possibilità di estendere questo *range* a 2 s, purchè motivato da un'attenta analisi del rischio.

Al paragrafo 9.2.7.4 viene chiarificata tutta la parte relativa alla **Comunicazione tra trasmettitore e ricevitore**. Oltre a richiamare quanto riportato nella 60204-1 sul fatto che i pacchetti devono essere inviati continuamente durante il funzionamento, la novità, in questo caso, riguarda **l'affidabilità della trasmissione**.

*Il sistema deve prevedere un'affidabilità della trasmissione pari ad una distanza di Hamming (distanza del segnale) del numero totale di bit di un pacchetto di dati diviso per 20, ma non inferiore a 4, o altri mezzi che assicurino un pari livello di affidabilità tale che la probabilità di passaggio di un pacchetto errato sia inferiore a  $10^{-8}$ .*

Chiaramente ci si riferisce a una specifica di sicurezza nella codifica del messaggio espressa attraverso l'unità di misura in **distanza di Hamming** per cui viene suggerito il riferimento ad un approfondimento teorico in appendice **A**.

Per quanto riguarda l'utilizzo di più postazioni di comando dell'operatore, la novità sta nel seguente estratto:

*Devono essere previsti mezzi per consentire il funzionamento di più coppie di trasmettitori/ricevitori nel campo di trasmissione, senza indebite interferenze reciproche. Tali mezzi devono essere protetti dai cambiamenti accidentali o involontari.*

L'importanza, quindi, si sposta sul fatto che una coppia trasmettitore/ricevitore deve essere indipendente, dal punto di vista della comunicazione radio, da ogni altra coppia in quanto, altrimenti, potrebbe essere possibile che ad un'unità ricevente giunga un messaggio proveniente da un trasmettitore diverso da quello che compone quella coppia. Ecco perchè, una delle caratteristiche di un collegamento radioelettrico sicuro è determinata dalla presenza di un **codice di identificazione** che deve essere:

- **UNICO**, ovvero prodotto una volta sola;
- **UNIVOCO**, quindi specifico per ogni coppia TX-RX.

## 2.4    DIRETTIVA 2014/53/UE: RADIO EQUIPMENT DIRECTIVE

La direttiva UE per le apparecchiature radio è stata pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea nel 2014, ed è applicabile a tutti i dispositivi elettrici ed elettronici che emettono e ricevono onde radio con frequenze inferiori ai 3000 GHz e, quindi, anche ai radiocomandi industriali di sicurezza.

Suddetta direttiva sostituisce la direttiva UE [RTTE\(99/5/CE\)](#), originariamente pubblicata nel 1999.

I principi generali sono simili a quelli della direttiva precedente, e comprendono il rispetto dei requisiti essenziali per la sicurezza del prodotto, la compatibilità elettromagnetica e l'uso efficiente dello spettro radio. Come accade per tutte le altre direttive della UE, la direttiva [RED](#) si basa su norme armonizzate per specifici requisiti tecnici, e il rispetto di questi requisiti presuppone la conformità ai principi essenziali della direttiva. Come ogni direttiva, essa deve essere rispettata



Figura 2.8: La direttiva [RED](#) si applica a tutti i dispositivi che utilizzano comunicazioni radio.

da tutti i produttori di dispositivi ed apparecchiature radio commercializzati o venduti nell'Unione Europea. I prodotti con il marchio *CE* devono essere conformi ai requisiti della Direttiva RED e a quelli di tutte le altre direttive correlate e applicabili.

*Le apparecchiature che trasmettono, emettono o ricevono intenzionalmente onde radio al fine di radiocomunicazione o radio-determinazione usano sistematicamente lo spettro radio. Al fine di assicurare un uso efficiente dello spettro radio ed evitare le interferenze dannose, tutte queste apparecchiature dovrebbero rientrare nell'ambito di applicazione della presente direttiva.*

Dunque, per definizione, un qualunque strumento che emette o riceve onde radio deve essere conforme alla suddetta direttiva. Inoltre, si riporta, deve essere garantito un uso efficiente dello spettro radio; infatti sono previste delle **bande di frequenza ammissibili** in funzione del tipo di dispositivo in uso:

*Conformemente alla decisione 2007/344/CE della Commissione (3), gli Stati membri devono utilizzare il sistema di informazione sulle frequenze ECO Frequency Information System (EFIS) dell'Ufficio europeo delle comunicazioni (ECO) per mettere a disposizione del pubblico, attraverso Internet, informazioni comparabili sull'uso dello spettro radio in ciascuno Stato membro.*

Di seguito si riporta un altro passo in cui viene citato il possibile danno che possono recare eventuali interferenze:

*Al fine di garantire che le apparecchiature radio, oltre a utilizzare lo spettro radio in maniera efficace, promuovano un utilizzo efficiente dello stesso, è opportuno che esse siano costruite in maniera tale che l'eventuale trasmettitore, se correttamente installato, sottoposto a manutenzione e usato ai fini cui è destinato, generi emissioni di onde radio che non producono interferenze dannose, mentre le emissioni di onde radio indesiderate generate dal trasmettitore (ad esempio in canali adiacenti) con un potenziale impatto negativo sugli obiettivi della politica in materia di spettro radio dovrebbero essere limitate a un livello che, allo stato del progresso tecnologico raggiunto, consenta di evitare interferenze dannose; inoltre, l'eventuale ricevitore possiede un livello di prestazioni che ne consenta il regolare funzionamento e lo protegga dal rischio di interferenze dannose, in particolare provenienti da canali condivisi o adiacenti, contribuendo così al miglioramento dell'efficienza nell'uso di canali condivisi o adiacenti.*

In sintesi viene spiegato come un trasmettitore installato correttamente e su cui siano state eseguite manutenzioni programmate non dovrebbe produrre interferenze dannose e che, in caso contrario, devono essere previsti dei metodi per limitarle al fine di non recare danni a persone od animali. Le medesime caratteristiche dovranno essere accolte anche dal ricevitore.

In precedenza è stato chiarificato come, in presenza di stazioni di comando operatore senza fili multiple, un ricevitore debba ricevere **solamente** dal trasmettitore ad esso associato attraverso un codice univoco che identifichi l'insieme, altrimenti si potrebbe incorrere in situazioni pericolose provocate da movimenti inattesi della macchina controllata.

Altro punto particolarmente delicato su cui dover porre le dovute attenzioni, viene richiamato ai punti 1 e 2 dell' art. 3 sui **Requisiti essenziali**:

1. *Le apparecchiature radio sono fabbricate in modo da garantire:*

- *la protezione della salute e della sicurezza di persone e di animali domestici e beni, compresi gli obiettivi riguardanti i requisiti di sicurezza previsti dalla direttiva 2014/35/UE, ma senza applicazione di limiti minimi di tensione;*
- *un adeguato livello di compatibilità elettromagnetica ai sensi della direttiva 2014/30/UE.*

Risulta chiaro, quindi che, un prodotto conforme alla direttiva **RED**, debba automaticamente rispettare la direttiva **LVD**, senza però tenere in considerazione i limiti minimi di tensione, e la direttiva **EMC**.

Mettendo a confronto la nuova Direttiva con la precedente **RTTE**, si nota anche l'inserimento di **nuove categorie di prodotti** che dovranno garantire la conformità alla stessa e l'esclusione di altre tipologie precedentemente incluse:

- Apparecchiature dedicate al solo utilizzo audio e ricevitori radio-TV, che erano state escluse dalla **RTTE**, rientrano nel campo di applicazione della **RED**;
- Apparecchiature operanti ad una frequenza inferiore a 9kHz, ricadono nel campo di applicazione della **RED**;
- equipaggiamento di radio-determinazione, aventi la capacità di determinare posizione, velocità ed altre caratteristiche di un corpo attraverso l'utilizzo di onde radio, ricade negli scopi della **RED**;
- Dispositivi cablati di telecomunicazioni adesso vengono esclusi dalla Direttiva;
- Kit di valutazione su misura per professionisti, destinati a essere utilizzati unicamente in strutture di ricerca e sviluppo a tali fini vengono esplicitamente esclusi dalla **RED**.

#### 2.4.1 *Specifiche di conformità generali di un radiocomando*

La norma **ETSI 300-220-1 Short Range Devices (SDR) operanti nel range di frequenza tra 25 MHz e 1000 MHz; Parte 1: Caratteristiche Tecniche e Metrodi di Misura**, armonizzata della direttiva **RED** precedentemente analizzata, porta alla luce determinate specifiche di cui un radiocomando industriale con funzioni di sicurezza, al fine di ottenere la marcatura **CE**, deve esserne caratterizzato.

Per quanto concerne le prestazioni del **ricevitore**, al paragrafo 4.1

chiamato "General performance criterion", viene proposto un test secondo cui, nelle condizioni nominali, deve produrre un output con le seguenti caratteristiche:

- a seguito della demodulazione, un segnale dati grezzo con un **Bit Error Ratio (BER)** pari a  $10^{-3}$  senza correzione e per tempi sufficientemente lunghi (vedi app. B);
- a seguito della demodulazione, un messaggio con un rapporto di successo (*Message Success Ratio*) pari ad un valore maggiore del BER e calcolato come segue:
  - $(1 - p)^n$  dove  $p$  è la probabilità di errore per bit (pari a  $10^{-3}$  per ragioni statistiche) e  $n$  è il numero di bit che compongono il messaggio.

Nei casi in cui questa caratteristica non potesse essere misurata, il metodo di rilevazione delle prestazioni deve essere dichiarato dal costruttore.

Il BER si presenta come un **indice di integrità del messaggio**, infatti quantifica il numero di bit errati o persi su tutto il messaggio inviato. La norma, quindi, esplicita che non può esserci più di 1 bit errato in un messaggio composto da 1000 bit.

Per quanto concerne, invece, la **categoria di un ricevitore**, la norma afferma che:

*Gli SDR sono usati in un vasto range di applicazioni; perciò è previsto un range di categorie con differenti livelli di prestazione. Il livello di prestazione acquisito è determinato in base all'abilità del sistema di operare in presenza di altri segnali. Per la stessa applicazione, il livello di performance dell'equipaggiamento può variare per diverse bande di frequenza operative. La famiglia di prodotto sarà, quindi, in base alla categoria del ricevitore.*

Di seguito, in tab. 2.2, si vede la suddivisione dettagliata in **categorie** del ricevitore proposta dalla norma. In sintesi, si parte dalla categoria 1 a cui prendono parte gli SDR ad elevate prestazioni, da utilizzare quando un errato funzionamento del radiocomando può avere gravi conseguenze sulla salute dell'operatore.

Poi si trova la categoria 1.5 che risulta essere un miglioramento della categoria 2. Quest'ultima viene definita come categoria **standard** di ricevitore.

Infine si arriva alla categoria 3 a cui prendono parte ricevitori a basse prestazioni che, cioè, non sono in grado di operare in presenza di altri dispositivi radio che operano in bande adiacenti. Il costruttore dovrà quindi fornire un altro mezzo per andare oltre questo problema.

Categoria del ricevitore	Descrizione
1	La categoria 1 è quella dei ricevitori più performanti. In particolare deve essere utilizzata laddove le operazioni con <b>SDR</b> possono mettere a rischio la sicurezza dell'operatore
1.5	La categoria 1.5 è un miglioramento in termini di <b>PL</b> del ricevitore di categoria 2.
2	La categoria 2 caratterizza lo standard <b>PL</b> dei ricevitori.
3	La categoria 3 identifica un basso <b>PL</b> del ricevitore. I produttori di radiocomandi devono essere avvisati del fatto che ricevitori di categoria 3 non sono in grado di lavorare in presenza di alcuni servizi radio in bande di frequenza adiacenti. Il produttore ha l'obbligo di fornire eventuali mezzi per superare la debolezza del collegamento radio o accettare eventuali fallimenti.

Tabella 2.2: Categorie di ricevitore in base al **PL**. Tabella 1 dell'articolo 1 della ETSI EN 300-220-2

Tipicamente il ricevitore di un radiocomando industriale di sicurezza dovrà, di conseguenza, appartenere alla **categoria 1**, in quanto ogni suo malfunzionamento potrebbe determinare movimenti improvvisi ed indesiderati della macchina automatica che, come analizzato in precedenza, dovrà possedere delle proprietà di arresto in autonomia in caso di comunicazione errata od assente.

Proseguendo nell'analisi della EN300-220-1, si trovano una serie di test che si dovranno effettuare sul dispositivo tra cui, di rilevante importanza, risulta quello sulla **temperatura** in condizioni estreme.

#### **4.3.4.1.2 Range di temperatura estremi**

*I test alle temperature estreme devono essere eseguiti in accordo con le procedure al punto 4.3.4.1 alla temperatura più alta e più bassa del profilo operativo dichiarato dal costruttore.*

*Esempi di range comunemente utilizzati per gli equipaggiamenti:*

- *Generici: da -20 °C a +55 °C;*
- *Portatili: da -10 °C a +55 °C;*
- *Normale utilizzo interno: da +5 °C a +35 °C;*
- *Automotive: da -40 °C a +125 °C.*

In genere, i radiocomandi industriali di sicurezza potranno operare all'interno dei primi due intervalli; tuttavia, anche per riservarsi un opportuno margine di sicurezza sulla temperatura di utilizzo, la quale dipende fortemente dal luogo in cui tali dispositivi verranno utilizzati, si preferisce validare il funzionamento nel range più esteso dei **Generici**.

#### **2.4.2 Frequenze operative ammesse nelle radiocomunicazioni**

Come già accennato in precedenza, l'**EFIS** mette a disposizione un elenco di bande di frequenza utilizzabili per le trasmissioni radio. Questo perchè si rivela necessario un criterio di scelta in base all'applicazione in oggetto, nonchè un'organizzazione ed una classificazione a livello globale sulla gestione dei canali radio.

Per quanto concerne le frequenze che possono occupare gli **SDR non specifici**, si legge al capitolo 1 *Scopi* della EN300-220-2 che:

*La categoria degli **SDR non specifici** viene definita dalla Decisione 2013/752/EU della Commissione EU come segue: **La categoria dei dispositivi a corto raggio non specifici copre ogni tipo di dispositivo radio, indipendentemente dal tipo di applicazione o scopo, che rispetta le condizioni tecniche, come specificato per una data banda di frequenza. Utilizzi***

*tipici includono telemetria, telecomandi, allarmi, trasmissione dati in generali ed altre applicazioni.*

*Il presente documento copre equipaggiamenti intesi per uso fisso, mobile o nomade, inclusi:*

- *equipaggiamento radio stand-alone;*
- *dispositivi radio plug-in intesi per utilizzo con od all'interno di vari sistemi ospitanti;*
- *dispositivi radio plug-in intesi per utilizzo all'interno di un equipaggiamento combinato.*

Di seguito, in tab. 2.3, vengono elencate dalla norma, tutte le bande di frequenza che possono occupare trasmissioni radio con SDR. Viene,

	Range di frequenza dei dispositivi SDR
Trasmittitore e ricevitore	da 26,957 MHz a 27,283 MHz
Trasmittitore e ricevitore	da 40,660 MHz a 40,700 MHz
Trasmittitore e ricevitore	da 138,2 MHz a 138,45 MHz
Trasmittitore e ricevitore	da 169,4 MHz a 169,8125 MHz
Trasmittitore e ricevitore	da 433,040 MHz a 434,790 MHz
Trasmittitore e ricevitore	da 863 MHz a 876 MHz
Trasmittitore e ricevitore	da 915 MHz a 921 MHz

Tabella 2.3: Tabella contenuta nella ETSI EN 300-220-2, riassuntiva delle bande di frequenza utilizzabili dai dispositivi a corto raggio.

inoltre, aggiunta una NOTA al termine della tabella stessa in cui si evince che non tutte le frequenze in tabella 2.3 sono implementate in tutte le nazioni europee e che, nell'allegato B, si possono trovare tutte le bande di frequenza effettivamente utilizzate nella UE.

Inoltre viene notificato come alcune bande di frequenza armonizzate potrebbero essere soggette a restrizioni sull'utilizzo da parte di alcune categorie di dispositivi, come le apparecchiature video e audio.

#### 2.4.3 Le Bande Industrial, Scientific and Medical (ISM)

Per tutti gli approfondimenti in merito agli ambiti di utilizzo di determinate bande di frequenza, le norme ETSI ci consigliano di affidarci alla classificazione dell'ITU. Tra quelle disponibili, sono di particolare interesse le bande ISM che definiscono un insieme di porzioni dello spettro elettromagnetico riservate alle applicazioni di radiocomunicazioni **non commerciali**, ma per uso **industriale, scientifico e medico**.

Si tratta di bande di frequenze regolarmente assegnate dal piano di ripartizione nazionale (ed internazionale) a particolari servizi e lascia-

to di libero impiego solo per applicazioni all'interno di una proprietà privata. La normativa vieta l'attraversamento del suolo pubblico, anche se evidentemente questo concetto è inapplicabile per le caratteristiche intrinseche della tecnologia. Inoltre sono prescritti limiti di massima Potenza Equivalente Irradiata (ERP) estremamente bassi in modo tale da **minimizzare le interferenze con altri sistemi radio pubblici esterni**.

In realtà, approfondendo il concetto, la ERP non sarebbe una vera e propria potenza, ma bensì si tratterebbe di **densità di potenza radio irradiata da un'antenna**; tuttavia è espresso come un'unità di misura di potenza, per cui in Watt oppure in mW; a volte è conveniente misurarlo come rapporto in decibel (dBm) dove:

$$1 \text{ dBm} = 10 \log_{10} \left( \frac{\text{Potenza radio irradiata [mW]}}{1 [\text{mW}]} \right) \quad (2.1)$$

In definitiva l'ERP per definizione viene calcolata come segue:

$$P_{\text{ERP}} = P_{\text{T}} * G_{\text{a}} - P_{\text{loss}} \quad (2.2)$$

Dove:

- $P_{\text{ERP}}$  è la potenza in uscita di un segnale quando esso è concentrato dall'antenna in un'area molto piccola, espressa in mW;
- $P_{\text{T}}$  è la potenza in uscita del trasmettitore in mW;
- $G_{\text{T}}$  è il guadagno dell'antenna;
- $P_{\text{loss}}$  è la potenza persa in mW.

Molte volte la potenza ERP viene confusa con la potenza equivalente irradiata da antenna isotropica (EIRP). Si può osservare dai diagrammi di radiazione di **antenna isotropica** (fig. 2.9) e **antenna dipolo** (fig. 2.10), il primo requisito è sicuramente più stringente del secondo.

Infatti, un limite sulla potenza EIRP, implica la possibilità di irradia-

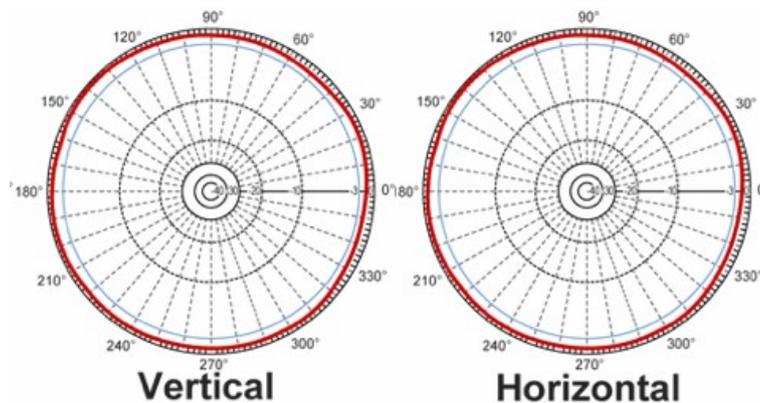


Figura 2.9: Tipico diagramma di radiazione di un'antenna isotropica.

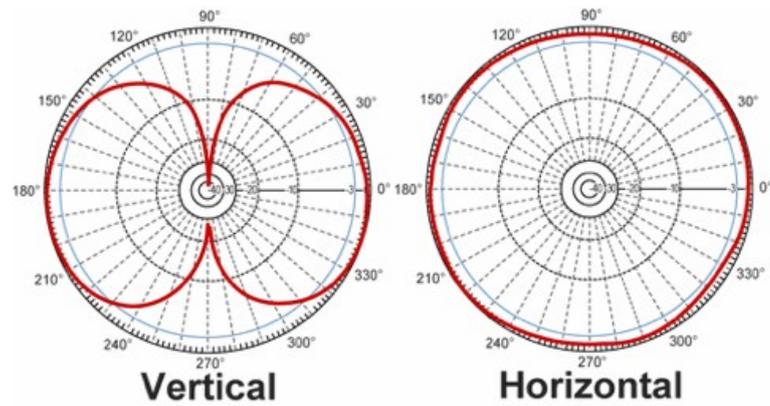


Figura 2.10: Tipico diagramma di radiazione di un'antenna dipolo.

re un segnale con una data potenza in tutte le direzioni, dovendo pur sempre rimanere sotto il valore limite; mentre una limitazione della  $P_{ERP}$  risulta molto più selettiva in quanto riguarda la direzione di propagazione del segnale in cui il guadagno risulta massimo (nel caso di fig. 2.10, coincide con l'asse delle ascisse). Come sarebbe giusto aspettarsi, per un'antenna isotropica vale:

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \quad (2.3)$$

Per il calcolo della potenza irradiata dall'antenna ( $P_T$ ) e della potenza persa ( $P_{LOSS}$ ) si faccia riferimento all'appendice D.

Le bande ISM sono state definite nel Volume 1 di "Radio Regulations", rilasciato dall'ITU nel 2016 al paragrafo 5.2, e l'utilizzo di queste bande può differire da Stato a Stato a causa di specifiche regolamentazioni nazionali.

Di seguito viene riportata la tabella (2.4) con tutte le bande ISM maggiormente utilizzate nel campo industriale con i relativi limiti di ERP.

Range di frequenza	Larghezza di banda	Massima ERP	Accessibilità
Da 26,957 MHz a 27,283 MHz	326 kHz	10 mW	Mondiale
Da 40,660 MHz a 40,700 MHz	40 kHz	10 mW	Mondiale
Da 433,050 MHz a 434,790 MHz	1,74 MHz	1 mW	Regione 1
Da 863 MHz a 876 MHz	10 MHz	5-25 mW	Mondiale
Da 915 MHz a 921 MHz	26 MHz	25 mW	Regione 2
Da 2,4 GHz a 2,5 GHz	100 MHz	10 mW	Mondiale
Da 5,725 GHz a 5,875 GHz	150 MHz	25 mW	Mondiale

Tabella 2.4: Tabella riassuntiva delle bande di frequenza definite ISM, contenuta negli allegati B e C della ETSI EN 300-220-2. Per *Regione 1* si intende tutta la zona comprendente gli Stati della UE; mentre per *Regione 2* ci si riferisce al continente americano (vedi fig. 2.11).

Il radiocomando industriale di sicurezza potrà, quindi, interfacciarsi solamente con queste frequenze. Si tratta di una lista di bande riservate ad un certo tipo di utilizzo, proprio per evitare possibili interferenze con altri dispositivi che utilizzano lo spettro elettromagnetico.

I principali costruttori di radiocomandi, però, vanno a creare prodotti che, sostanzialmente, utilizzano, una piccola parte di tutte le bande di frequenza disponibili.

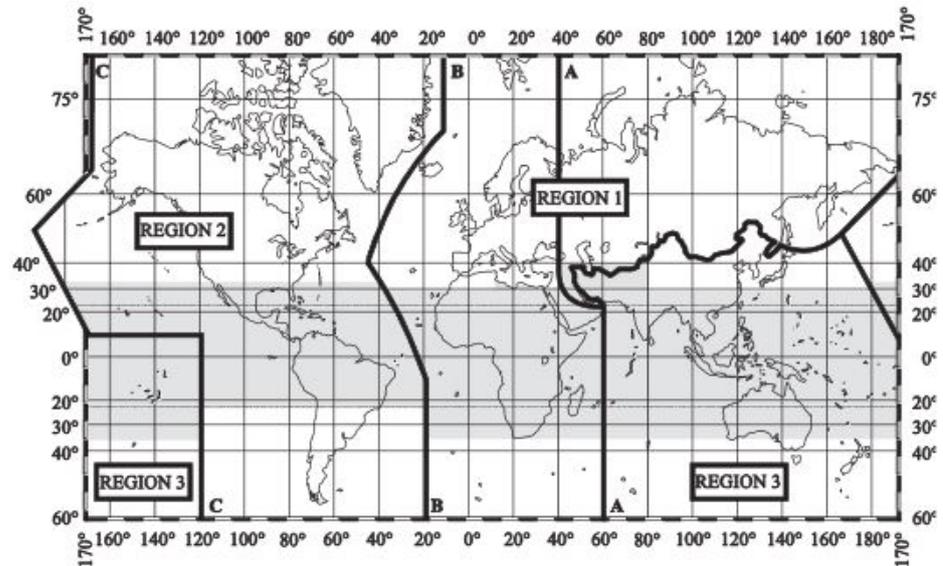


Figura 2.11: Aree di normalizzazione delle frequenze. La figura è contenuta nel documento Radio Regulations [ITU](#) all'art. 5.2

In sintesi:

- EU: 434 MHz, 870 MHz;
- North America: 450 MHz e 915 MHz;
- Brazil: 434 MHz;
- South Africa: 445 MHz;
- China: 419 MHz;
- Japan: 429 MHz;
- South Korea: 447 MHz;
- Australia: 434 MHz.

#### 2.4.4 Tecnologia di trasmissione dati *LBT*

Questa tecnica di scambio dati è analoga a quella che si può trovare all'interno di una rete lan via cavo e viene definita dal CSMA/CD. Suddetta metodologia impedisce che più dispositivi inviino contemporaneamente un comando alla macchina e, quindi, evitando che due o più messaggi si scontrino generando un'**informazione incomprensibile**.

- Carrier Sense (**CS**): ogni dispositivo connesso, è a conoscenza di quando ogni trasmettitore invia o riceve un messaggio dal ricevitore;
- Multiple Access (**MA**): tutti i trasmettitori connessi possono accedere contemporaneamente al ricevitore ed iniziare uno scambio dati;
- Collision Detection (**CD**): ogni qualvolta che un trasmettitore invia un messaggio, esso rimane in ascolto del messaggio che transita nel canale di trasmissione e, se nota delle differenze da quello di partenza, interrompe immediatamente la comunicazione aspettando un intervallo prefissato. Ecco, perciò, da dove deriva il nome "*Listen Before Talking*".

Si tratta quindi di una tecnologia in grado di fornire una nuova modalità di comunicazione **adattativa** e garantire un elevatissimo standard di affidabilità. Infatti si passa da una situazione in cui i dispositivi radio venivano realizzati per **difendersi da ogni interferenza** a radio intelligenti in grado di gestire la comunicazione in modo dinamico grazie ad una gestione automatica delle frequenze ed altre informazioni non di sicurezza.

#### 2.4.5 Dichiarazione di conformità UE dei radiocomandi.

La direttiva **RED** fornisce anche interessanti spunti per capire come deve essere eseguito tutto l'iter che porta un prodotto dalla fase di progettazione alla vendita.

*Il regolamento (CE) n. 765/2008 del Parlamento europeo e del Consiglio stabilisce norme riguardanti l'accreditamento degli organismi di valutazione della conformità, fornisce un quadro per la vigilanza del mercato dei prodotti e per i controlli sui prodotti provenienti dai paesi terzi e stabilisce i principi generali della marcatura CE.*

In generale, un prodotto, per essere commercializzabile deve essere **marcato CE**; questo identifica il rispetto di tutte le norme riguardanti l'ambito di applicazione dello stesso.

*La marcatura CE, che indica la conformità delle apparecchiature radio, è la conseguenza visibile di un intero processo che comprende la valutazione della conformità in senso lato. I principi generali che disciplinano la marcatura CE sono esposti nel regolamento (CE) n. 765/2008, mentre la presente direttiva dovrebbe dettare le norme che disciplinano l'apposizione della marcatura CE.*

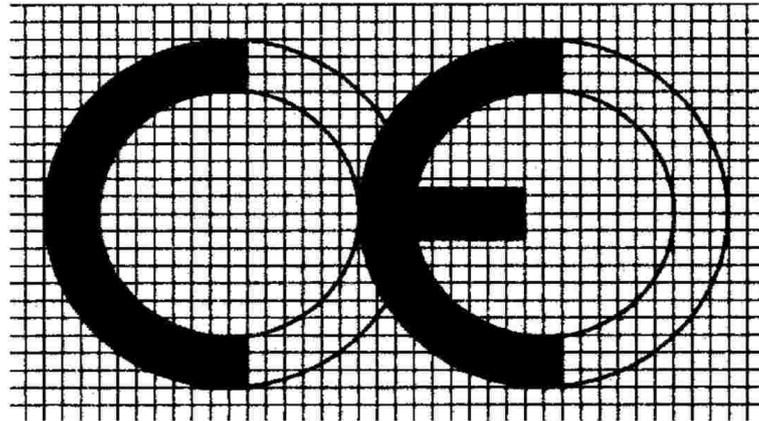


Figura 2.12: Esempio di marcatura CE eseguita con la griglia apposita.

Per quanto concerne l'apparecchiatura radio in particolare, viene esplicitata la possibilità di non apporre la marcatura direttamente sul prodotto o su di una targhetta con l'identificativo del fabbricante, ma di prevedere, nello schermo del radiocomando, un'opzione che porti ad una schermata indicante tutti i dati inerenti alla certificazione. Questo perchè la direttiva enfatizza che l'evoluzione tecnologica sta sempre più trasferendo le informazioni su carta in formato digitale.

*[...]una funzione che preveda la visualizzazione automatica delle stesse informazioni al momento dell'accensione dell'apparecchiatura radio oppure una funzione che consenta all'utilizzatore finale di selezionare la visualizzazione delle informazioni pertinenti.*

Nell' art. 10, in merito degli **Obblighi dei fabbricanti** si legge:

*Qualora la conformità dell'apparecchiatura radio alle prescrizioni applicabili sia stata dimostrata da tale procedura di valutazione della conformità, i fabbricanti redigono una dichiarazione di conformità UE e appongono la marcatura CE.*

Detto ciò si capisce come il fabbricante non debba obbligatoriamente far riferimento ad Organismi Notificati per la marcatura CE del radiocomando, ma bensì basta una **Autocertificazione di Conformità** con la quale dichiara di aver seguito tutte le norme armonizzate contenute nella *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea*.

*Il fabbricante effettua una valutazione di conformità dell'apparecchiatura radio rispetto ai requisiti essenziali di cui all'articolo 3. Nella valutazione di conformità sono prese in considerazione tutte le condizioni di funzionamento cui le apparecchiature sono destinate[...]Per le apparecchiature radio che possono assumere diverse configurazioni, con la valutazione di conformità si conferma altresì la conformità dell'apparecchiatura radio ai requisiti essenziali di cui all'articolo 3 in tutte le possibili configurazioni.*

Un'altra modalità per dichiarare la conformità di un radiocomando industriale viene definita **CONFORMITÀ BASATA SULLA GARANZIA TOTALE DI QUALITÀ**, attraverso il Modulo H, per la quale è richiesta la presenza di un Organismo Notificato che faccia da garante nel rispetto dei requisiti dettati dalle norme, da applicare qualora non si riesca a farlo in autonomia.

*Il fabbricante presenta una domanda di verifica del suo sistema di qualità a un organismo notificato di sua scelta per le apparecchiature radio in questione.*

*La domanda deve contenere:*

- *il nome e l'indirizzo del fabbricante e, qualora la domanda sia presentata dal suo rappresentante autorizzato, il nome e l'indirizzo di quest'ultimo;*
- *la documentazione tecnica per ciascun tipo di apparecchiatura radio che intende fabbricare. La documentazione tecnica contiene, laddove applicabile, gli elementi di cui all'allegato V;*
- *la documentazione relativa al sistema di qualità;*
- *una dichiarazione scritta in cui si precisa che la stessa domanda non è stata presentata a nessun altro organismo notificato.*

L'Organismo Notificato viene chiamato in causa anche nel caso spiegato nell'ALLEGATO III. Infatti con l'impiego dei **moduli B e C**, in cui viene utilizzato ESAME UE DEL TIPO E CONFORMITÀ AL TIPO BASATA SUL CONTROLLO INTERNO DELLA PRODUZIONE:

*3. Il fabbricante presenta una richiesta di esame UE del tipo a un unico organismo notificato di sua scelta.*

*4. L'organismo notificato esamina la documentazione tecnica e probatoria per valutare l'adeguatezza del progetto tecnico dell'apparecchiatura radio.*

*5. L'organismo notificato redige una relazione di valutazione che elenca le iniziative intraprese in conformità al punto 4 e i relativi risultati.*

*6. Se il tipo risulta conforme alle prescrizioni della presente direttiva applicabili all'apparecchiatura radio in questione, l'organismo notificato rilascia al fabbricante un certificato di esame*

*UE del tipo. Tale certificato riporta il nome e l'indirizzo del fabbricante, le conclusioni dell'esame, gli aspetti dei requisiti essenziali oggetto di esame, le eventuali condizioni di validità e i dati necessari per l'identificazione del tipo approvato. Il certificato di esame UE del tipo può comprendere uno o più allegati.*

L'Organismo Notificato viene classificato e registrato in base alla direttiva di riferimento, dalla Commissione dell'Unione Europea e, attualmente, in Italia ne sono presenti solamente quattro tra cui **IMQ**, **Eurofins Product Testing Italy**, **NEMCO** e **I.S.C.T.I. (Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione)**. Nel caso in cui il fabbricante non avesse l'attrezzatura di test adeguata al fine di eseguire tutte le prove di conformità alle norme armonizzate della Direttiva RED, può comunque inoltrare all'Organismo Notificato una dichiarazione di **pre-compliance**, in caso di prodotti con base di progetto di articoli già **RED**.

In merito alla marcatura di un dispositivo radio, tra le definizioni elencate nella direttiva **RED** si legge:

*«marcatura CE»: una marcatura mediante la quale il fabbricante indica che l'**apparecchiatura radio** è conforme ai requisiti applicabili stabiliti nella normativa di armonizzazione dell'Unione che ne prevede l'apposizione.*

Da ciò si riesce a capire come ogni **singola apparecchiatura radio** debba essere caratterizzata dalla marcatura. A titolo d'esempio, si prende l'equipaggiamento per controllare, da remoto, un carroponete. In tal caso, si avrà a disposizione un trasmettitore ed un'unità ricevente. Entrambi questi dispositivi dovranno essere dichiarati conformi alla direttiva, in quanto ci si riferisce a due apparecchi che sfruttano lo spettro radio. Il fabbricante, in seguito, andrà, comunque ad identificare la coppia TX-RX con un codice univoco affinché l'una possa trasmettere solo all'altra ed a nessun altro dispositivo (fig. 2.13).

Nella vecchia direttiva **RTTE** era previsto un **simbolo particolare** da affiancare al marchio CE, nel caso in cui il dispositivo in oggetto utilizzasse bande di frequenza non armonizzate all'interno delle norme **ETSI**. Si tratta dell'*alert sign* o *information sign*, visibile in fig. 2.14.

Questa indicazione non è prevista, invece, dalla direttiva **RED**. In caso di utilizzo di bande di frequenza non armonizzate, il fabbricante ha l'obbligo di fornire informazioni, in accordo al punto 10 dell'art. 10 della **RED**, quando esistono restrizioni alla messa in servizio o ai requisiti per l'autorizzazione all'uso in uno o più Stati membri. Di seguito viene riportato l'estratto dell'articolo 10 della direttiva **RED** che va a chiarire e specificare proprio questa casistica:

*In presenza di restrizioni applicabili alla messa in servizio o di requisiti in materia di autorizzazione per l'uso, le informazioni*



Figura 2.13: Un trasmettitore può comunicare solamente con un'unità ricevente ad esso associata per motivi di sicurezza nella radiocomunicazione.



Figura 2.14: Simbolo di informazione o *information sign* precedentemente utilizzato nella direttiva [RTTE](#).

*disponibili sull'imballaggio consentono di individuare gli Stati membri o la zona geografica all'interno di uno Stato membro in cui sussistono restrizioni alla messa in servizio o requisiti in materia di autorizzazione per l'uso. Tali informazioni devono essere completate nelle istruzioni accluse all'apparecchiatura radio. La Commissione può adottare atti di esecuzione che specificano le modalità di presentazione di tali informazioni.*

In accordo con il suddetto articolo, attraverso il **REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2017/1354 DELLA COMMISSIONE del 20 luglio 2017 che specifica le modalità di presentazione delle informazioni di cui all'articolo 10, paragrafo 10, della direttiva 2014/53/UE del Parlamento europeo e del Consiglio**, viene specificato nell'art. 2 come si debba ricorrere ad un nuovo **pittogramma**:

*1. Se le apparecchiature radio sono soggette a restrizioni applicabili alla messa in servizio o a requisiti in materia di autorizzazione per l'uso come disposto dall'articolo 10, paragrafo 10, della direttiva 2014/53/UE, l'imballaggio di tali apparecchiature indica in modo visibile e leggibile:*

- *un pittogramma, come stabilito all'allegato I; o*
- *la dicitura «Restrizioni o Requisiti in» in una lingua che può essere facilmente compresa dai consumatori e dagli altri utilizzatori finali, secondo quanto determinato dallo Stato membro interessato, seguita dalle abbreviazioni degli Stati membri, come stabilito nell'allegato II, qualora vi siano tali restrizioni o requisiti.*

In fig. 2.15 vengono riportati due esempi di pittogrammi, da **applicare sull'imballaggio**, seguiti dalle degli Stati membri, in cui esistono restrizioni applicabili alla messa in servizio o requisiti in materia di autorizzazione per l'uso, contenuti nell'**allegato I** del suddetto Regolamento di Esecuzione. Al paragrafo 2 dell'art. 2 si riporta, inoltre, il contenuto delle istruzioni in materia di restrizioni:

*Se le apparecchiature radio sono soggette a restrizioni applicabili alla messa in servizio o a requisiti in materia di autorizzazione per l'uso come disposto all'articolo 10, paragrafo 10, della direttiva 2014/53/UE, le istruzioni che accompagnano tali apparecchiature indicano, in una lingua che può essere facilmente compresa dai consumatori e dagli altri utilizzatori finali stabilita dallo Stato membro interessato, l'elenco degli Stati membri e delle aree geografiche all'interno degli Stati membri in cui esistono tali restrizioni o requisiti, nonché i tipi di restrizioni o requisiti applicabili in ogni Stato membro e in ogni zona geografica all'interno di uno Stato membro.*

Devono essere, dunque, riportate, in lingua facilmente comprensibile, indicazioni sugli Stati Membri, o su delle specifiche zone geografiche



ES	LU	RO
CZ	FR	HU
SI	DK	HR

	BG	EE	BE
---	----	----	----

Figura 2.15: Pittogramma da utilizzare nel caso di apparecchiature radio soggette a restrizioni.

che presentano restrizioni all'uso di apparecchiature radio affinché l'utilizzatore finale debba prendere in considerazione la possibilità di occupare bande di frequenza non armonizzate.

Un'altra informazione molto importante riguardante la **presenza di restrizioni** nell'utilizzo di determinate bande di frequenza in di certi Stati Membri, si valuta all'interno della **Decisione della Commissione 2000/299/EC**.

In tal senso, è sorta la necessità di distinguere due **categorie** di apparecchiature radio in base alle restrizioni all'uso come segue:

- **Categoria 1:** apparecchiature che non hanno limitazioni di immissione e vendita.
- **Categoria 2:** apparecchiature il cui uso è limitato in alcuni Stati membri. Fanno parte di questa categoria, ad esempio, dispositivi con restrizioni su:
  - frequenze disponibili e permesse per certe applicazioni in un determinato Stato Membro;
  - singola licenza che occorre possedere per utilizzare uno specifico equipaggiamento radio;
  - utilizzo per interni;
  - ...

Per quanto concerne, invece la direttiva [EMC](#), è opportuno sapere che si applica a prodotti che **disturbano o possono essere disturbati**, anche se ci sono delle eccezioni per cui non è opportuno rispettare i requisiti essenziali, come ad esempio i prodotti militari e le apparecchiature in ambito medico che devono rispettare direttive apposite. Occorre poi porre particolare attenzione alla classificazione dei prodotti che viene fornita all'interno della direttiva:

- **Componenti:** elementi di base non in grado di svolgere autonomamente una funzione. In tal caso la direttiva viene applicata se e solo se il componente non ha **funzione diretta**, ovvero

*una qualsiasi funzione del componente stesso che soddisfi l'uso a cui è destinato, specificato dal costruttore nelle istruzioni per l'utente finale.*

*Alcuni componenti possono svolgere una funzione quando sono inseriti in un apparato, ma se presi singolarmente non hanno alcuna funzione diretta.*

- **Apparati od apparecchiature:**

*qualsiasi unità autonoma in grado di svolgere una specifica funzione.*

Un apparato può essere realizzato con un insieme di componenti, alcuni dei quali non necessariamente marcata CE. In tal caso va SEMPRE applicata la direttiva **EMC**.

- **Sistemi/Installazioni:**

*combinazione di diversi tipi di apparecchiature, prodotti finiti e componenti progettati e assemblati dal costruttore e destinata ad essere immessa sul mercato come unità funzionale singola.*

Per quanto riguarda l'applicazione della direttiva **EMC** in quest'ultimo caso serve un po' di attenzione. Si possono, dunque, distinguere tre *percorsi*, ovvero casistiche di **sistemi** relativamente alla marcatura CE dei propri apparati, per capire quando va applicata o meno la suddetta direttiva:

- Percorso 1

*Nel caso in cui il sistema sia assemblato da apparati non tutti con marcatura CE, per essere immesso sul mercato deve essere combinato da una persona esperta, che assume il ruolo di costruttore, con la responsabilità della conformità del sistema alla Direttiva*

- Percorso 2

*Se ogni singolo componente è marchiato CE e se vengono seguite le indicazioni del costruttore di ogni singolo componente durante la fase di progettazione, assemblaggio e messa in opera, il sistema è da ritenersi conforme CE e, dunque, non si deve provvedere ad una nuova marcatura.*

- Percorso 3

*Esistono sistemi dati da una combinazione di parti e che possono essere offerti sul mercato in diverse configurazioni*

*(es. **quadro elettrico**). Il costruttore deve provare il sistema nella configurazione peggiore, cioè in quella che ha la maggiore probabilità di generare il massimo disturbo (o che può essere la più suscettibile a possibili disturbi). Se il sistema supera le prove nella configurazione peggiore, allora può essere posta la marcatura CE su tutte le configurazioni possibili.*

Riprendendo, quindi, l'esempio del quadro elettrico, viene sottoposto a prova il quadro più complesso dal punto di vista EMC.

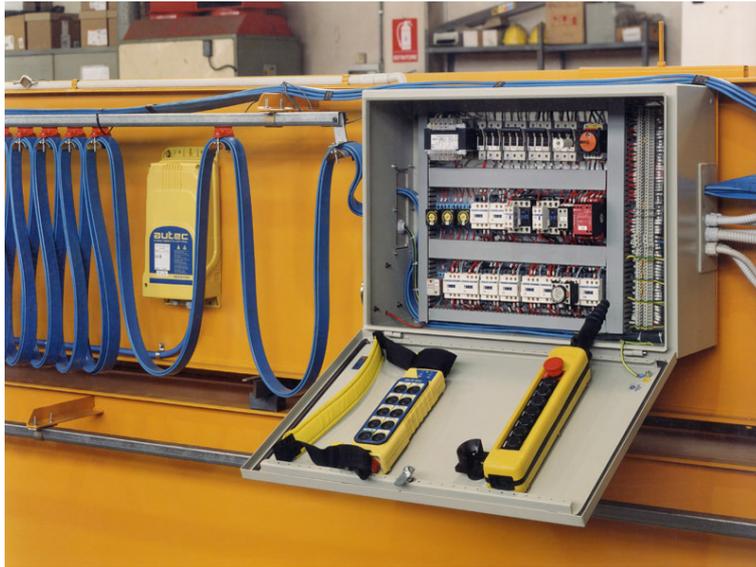


Figura 2.16: Quadro elettrico installato a bordo di un carroponete.

Un altro caso interessante da analizzare è quello in cui il costruttore di un carroponete, ad esempio, decide di installare l'unità RX all'interno di un quadro elettrico da automazione sulla macchina. In tal caso è da valutare se il componente aggiunto rispetto alla configurazione originale prevista dal produttore di radiocomandi si di tipo **elettromagneticamente rilevante** o meno.

*Un componente è ELETTRICAMENTE RILEVANTE se può generare o essere influenzato da disturbi EM ed influire sulle caratteristiche EMC del sistema all'interno del quale viene inserito.*

Dato che il **ricevitore** fa parte di questa categoria, sicuramente il costruttore dovrà seguire la direttiva EMC ed effettuare nuovamente tutte le prove nel caso di configurazione peggiore per ottenere la marcatura CE.

Spostando, invece, l'attenzione sul **quadro elettrico**, risulta che esso dovrà risultare conforme alle direttive:

- Macchine;
- LVD;
- EMC.

Non dovrà, tuttavia, rispettare i requisiti della direttiva RED, in quanto la funzione principale di questo equipaggiamento non è quella di inviare o ricevere informazioni utilizzando lo spettro radio.

A titolo d'esempio, si riporta, nella pagina seguente, una **dichiarazione di conformità** rilasciata da una nota azienda produttrice di radiocomandi industriali, la Autec srl.

Si noti come, in alto a sinistra, vengono riportati tutti i codici prodotto validi per la suddetta dichiarazione. Di particolare importanza risulta la marcatura CE accompagnata da una descrizione valida che ha portato alla conformità dei dispositivi citati nel riquadro e che, quindi, potranno essere commercializzabili. Vengono riportate le direttive a cui i prodotti si sono dimostrati conformi, per quanto concerne i requisiti essenziali, quindi la RED e la direttiva Macchine. Inoltre viene specificato che, nel caso in cui ricevitore e trasmettitore fossero collegati via cavo, vengono rispettate anche la direttiva EMC e la LVD che, giustamente, non sono state citate quando si è parlato di collegamento radio tra le due unità.

In seguito vengono dichiarate, per completezza, tutte le norme armonizzate delle varie direttive a cui si è fatto riferimento per la dichiarazione.

Infine si trovano la data e il luogo in cui è stato firmato il suddetto documento, accompagnato dalla firma del responsabile tecnico.

Si nota come, il contenuto della seguente **dichiarazione di conformità** abbia tutti i requisiti descritti nell'allegato VI, intitolato **DI-CHIARAZIONE DI CONFORMITÀ UE (N. XXX)**:

- Apparecchiatura radio (numero di prodotto, di tipo, di lotto o di serie);
- Nome e indirizzo del fabbricante o del suo rappresentante autorizzato;
- La presente dichiarazione di conformità è rilasciata sotto l'esclusiva responsabilità del fabbricante;
- Oggetto della dichiarazione (identificazione dell'apparecchiatura radio che ne consenta la tracciabilità. Essa può comprendere un'immagine a colori sufficientemente chiara se necessario per l'identificazione dell'apparecchiatura radio);
- L'oggetto della dichiarazione di cui sopra è conforme alla pertinente normativa di armonizzazione dell'Unione: . . .  
Se del caso, altre normative di armonizzazione dell'Unione;

- Riferimento alle pertinenti norme armonizzate utilizzate o riferimenti alle altre specifiche tecniche in relazione alle quali è dichiarata la conformità. I riferimenti devono essere indicati con il loro numero di identificazione e versione e, se del caso, la data di emissione;
- Se del caso, l'organismo notificato ... (denominazione, numero) ... ha effettuato ... (descrizione dell'intervento) ... e rilasciato il certificato di esame UE del tipo: ...
- Se del caso, una descrizione degli accessori e dei componenti inclusi nella dichiarazione di conformità UE, compreso il software, che consentono all'apparecchiatura radio di funzionare come previsto;
- Informazioni supplementari:  
Firmato a nome e per conto di: ...  
(luogo e data del rilascio): ...  
(nome, funzione) (firma): ...

<b>*S/N</b>	
GC10501-GC13000	
<b>**Units</b>	
<b>Model AJM</b>	<b>Type DA0BM</b>
<b>Model AJR</b>	<b>Type DA0BM</b>
<b>Model AJS</b>	<b>Type DA0BM</b>
<b>Model RGA</b>	<b>Type GA00M</b>
<b>Model RGA</b>	<b>Type GB0HM</b>
<b>Model RGE</b>	<b>Type BA00M</b>
<b>Model RGM</b>	<b>Type KA00M</b>
<b>Model RGM</b>	<b>Type KB0HM</b>
<b>Model RLB</b>	<b>Type HA00M</b>
<b>Model RLB</b>	<b>Type HB0HM</b>
<b>Model RMC</b>	<b>Type EA00M</b>
<b>Model RMC</b>	<b>Type EB0HM</b>
<b>Model RMG</b>	<b>Type MA00M</b>
<b>Model RMG</b>	<b>Type MB0HM</b>
<b>Model RMH</b>	<b>Type NA00M</b>
<b>Model RMH</b>	<b>Type NB0HM</b>
<b>Model RNF</b>	<b>Type LA00M</b>
<b>Model RNF</b>	<b>Type LB0HM</b>
<b>Model RPD</b>	<b>Type FA00M</b>
<b>Model RRL</b>	<b>Type PA00M</b>
<b>Model RRL</b>	<b>Type PB0HM</b>

# EU Declaration of Conformity

Autec declares that a radio remote control composed by a transmitting unit and a receiving unit from the listed ones\*\* with a serial number inside the designated range\* IS IN COMPLIANCE with the essential requirements and other relevant provisions of the RED Directive (2014/53/EU, Annex II) and (as applicable) of the Machinery Directive (2006/42/EC).



Autec declares that a radio remote control complies with the EMC Directive (2014/30/EU) and the LVD Directive (2014/35/EU) when the transmitting unit and receiving unit are connected by means of the suitable cable.

The radio remote control is in compliance with the following standards (as applicable):

- EN 300 220-2 V3.1.1
- EN 61000-6-2:2005 + AC:2005
- EN 61000-6-3:2007 + A1:2011 + AC:2012
- EN 60204-32:2008
- EN 60204-1:2006 + A1:2009 + AC:2010
- EN ISO 13849-1:2015
- EN 301 489-3 V1.6.1
- EN 60950-1:2006 + A1:2010 + A11:2009 + A12:2011 + AC:2011 + A2:2013
- EN 62479:2010
- EN 13557:2003 + A2:2008
- EN 60529:1991
- EN 60068-2-1:2007, -2-2:2007

Caldogno, 08/05/2017

Valid Signature:

Name - Position: Ing. Antonio Silvestri - Administrator

<b>IT</b>	Autec dichiara che un radiocomando costituito da un'unità trasmittente e un'unità ricevente tra quelle elencate** con numero di matricola compreso nell'intervallo designato* È CONFORME ai requisiti essenziali e alle altre disposizioni pertinenti stabilite dalla Direttiva RED (2014/53/UE, Allegato II) e (per quanto applicabile) dalla Direttiva Macchine (2006/42/CE).
<b>DE</b>	Autec erklärt, dass eine Funkfernsteuerung, die aus einer der aufgelisteten** Sende- und Empfangseinheiten besteht und eine Seriennummer innerhalb des genannten* Bereichs besitzt, den grundlegenden Anforderungen und sämtlichen Bestimmungen ENTSPRICHT, die von der RED-Richtlinie (2014/53/EU, Anhang II) und (soweit anwendbar) der Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) festgelegt wurden.
<b>FR</b>	Autec déclare qu'une radiocommande est constituée d'une unité de transmission et d'une unité de réception parmi celles énumérées** avec un numéro de série compris dans l'intervalle désigné* EST CONFORME aux conditions essentielles et aux autres dispositions pertinentes établies par la directive RED (2014/53/UE, Annexe II) et (pour ce qui est applicable) par la Directive Machines (2006/42/CE).
<b>ES</b>	Autec declara que un telemando constituido por una unidad emisora y una unidad receptora entre las enumeradas** con número de matrícula comprendido en el intervalo designado* ES CONFORME con los requisitos esenciales y las otras disposiciones pertinentes establecidas por la Directiva RED (2014/53/UE, Anexo II) y (en la medida en sea aplicable) por la Directiva Máquinas (2006/42/CE).
<b>PT</b>	Autec declara que um radiocomando constituído de uma unidade transmissora e uma unidade receptora entre aquelas listadas** com número de matrícula compreendido no intervalo designado* ESTÁ EM CONFORMIDADE com os requisitos essenciais e as outras disposições pertinentes estabelecidas pela Diretiva RED (2014/53/UE, Anexo II) e (tanto quanto aplicável) pela Diretiva de Máquinas (2006/42/CE).
<b>NL</b>	Autec verklaart dat een radiografische afstandsbediening die bestaat uit een zenderunit en een ontvangerunit uit diegenen die worden vermeld** met een serienummer binnen het aangewezen interval* IN OVEREENSTEMMING IS met de essentiële vereisten en de andere relevante bepalingen van de Richtlijn RED (2014/53/EU, Bijlage II) en (voor zover toepasbaar) van de Machinerichtlijn (2006/42/EG).
<b>DA</b>	Autec erklærer, at en radiofjernbetjening, der består af en sender og en modtager blandt dem angivet** med serienummer indenfor det anførte interval* ER I OVERENSSTEMMELSE med de grundlæggende krav og andre relevante forordninger i Direktivet RED (2014/53/EU, Bilag II) og (hvor dette finder anvendelse) i Maskindirektivet (2006/42/EF).
<b>PL</b>	Autec oświadcza, iż system sterowania radiowego, złożony z nadajnika i odbiornika, wybranych spośród urządzeń wymienionych** o numerze seryjnym mieszczącym się w podanej grupie* JEST ZGODNY z podstawowymi i pozostałymi wymogami Dyrektywy RED (2014/53/UE, Załącznik II) oraz (jeżeli dotyczy) Dyrektywy Maszynowej (2006/42/WE).
<b>SV</b>	Autec intygar att de fjärrkontrollerna bestående av en sändarenhet och en mottagarenhet som ingår i listan** med tillverkningsnummer inom avsett intervall* ÖVERENSSTÄMMER med de väsentliga kraven och andra relevanta bestämmelser som fastställs i direktivet RED (2014/53/EU, bilaga II) och (i tillämpliga fall) av maskindirektivet (2006/42/EG).
<b>FI</b>	Autec ilmoittaa, että radiolähetin, joka koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta ja joka on luetteltujen** määrättyyn intervalliin* sisältyvien valmistenumeroiden joukossa ON välttämättömien vaatimusten kanssa ja muiden direktiivissä RED (2014/53/EU, liite II) ja (sovellettavissa osin) konedirektiivissä (2006/42/EY) annettujen relevanttien säännösten ja määräysten kanssa YHDENMUKAINEN.
<b>SL</b>	Autec izjavlja, da je naprava za radijsko daljinsko upravljanje sestavljena iz oddajne in sprejemne enote iz seznama** s serijsko številko, zajeto v določenem intervalu* SKLADNA z bistvenimi zahtevami in drugimi relevantnimi določili Direktive RED (2014/53/EU, Priloga II) in (kakor je primerno) Direktive o strojih (2006/42/ES).

## 2.5 CEI EN 62745: REQUISITI DI SICUREZZA DI SISTEMI DI CONTROLLO SENZA FILI.

I dispositivi di comando senza fili rappresentano un settore in continua evoluzione tecnologica per il quale l'obiettivo della sicurezza nella trasmissione e ricezione dei comandi diventa obiettivo prioritario.

Il *system integrator*, ossia colui che doveva scegliere un radiocomando per la propria applicazione, si trovava di fronte a un dilemma. La grossa disponibilità di radiocomandi a prezzi molto diversi tra loro, apparentemente equivalenti dal punto di vista tecnico e affidabilistico, in realtà poi si rivelavano profondamente diversi per **tecniche circuitali** e per **qualità dei componenti utilizzati**. Tutti, però, venivano proposti sul mercato e nelle brochure commerciali come radiocomandi "sicuri" e adatti all'impiego sui macchinari.

Insomma, il mercato aveva bisogno di una **regolamentazione** per dare certezze sia ai progettisti, sia ai costruttori di macchine, sia agli utilizzatori finali.

Il principale scopo della norma è specificare i requisiti essenziali per la funzionalità di un **CCS** interfacciato con una macchina o che fa parte di un sistema di controllo della macchina (l'equipaggiamento elettrico appunto); in pratica definisce il **CCS** come una stazione di comando di una macchina, comprensiva quindi di unità trasmittente ed unità ricevente, complessa o semplice che sia.

La misura in cui la funzionalità di un **CCS** viene usata per minimizzare i rischi di una macchina è un criterio chiave di selezione di tale componente. È dunque importante scegliere un **CCS** che fornisca funzioni di controllo adeguate con un livello di integrità della sicurezza appropriato, secondo la valutazione del rischio della macchina. È importante osservare che la CEI EN 62745 non si prefigge di indicare tutti i requisiti necessari per la progettazione e la costruzione di un **CCS**. Ad esempio, non specifica protocolli di comunicazione, aspetti di frequenza o banda, né l'intera gamma di requisiti di costruzione, quali resistenza all'urto, grado di protezione, compatibilità elettromagnetica, ecc.

Di rilevante importanza risulta il fatto che nella suddetta norma esistono dei paragrafi già trattati nella CEI EN60204-1. Vi è, dunque, la necessità di non creare contrasti, nè sovrapposizioni; infatti, l'ultima edizione della norma sulla Sicurezza del Macchinario contiene informazioni sui radiocomandi solamente perchè rilasciata prima della CEI EN 62745.

La norma è ricca di schemi e tabelle, per cui risulta molto chiara e di facile comprensione. Anche dal punto di vista della struttura non

presenta lacune, infatti la prima parte parla di **requisiti funzionali** (Cap. 4) con alcune indicazioni di prevenzione, sulla comunicazione, sulle funzioni safety-related, sull'arresto, reset, indicatori, ecc. Lo stesso capitolo contiene indicazioni sull'uso di CCS multipli. Il capitolo successivo propone alcuni test da eseguire sui **CCS** e sui **CCS** interfacciati con una macchina. Infine, gli ultimi due capitoli, parlano nello specifico di **informazioni per l'uso** e di **marcatura CE**.

Di seguito, in fig. 2.17 troviamo uno schema presente nella norma che sintetizza il funzionamento di un sistema di controllo di una macchina, facendo un particolare riferimento all'uso in parallelo delle tecnologie cablate e senza fili.

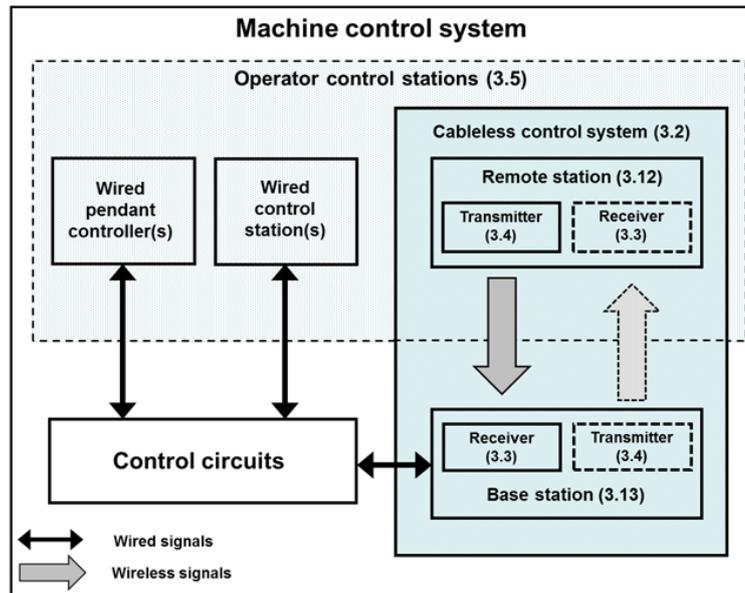


Figura 2.17: Uno schema presente nella Norma CEI EN 62745.

### 2.5.1 Principali contenuti della norma.

La chiarezza espositiva e l'immediatezza nell'interpretazione della CEI EN 62745, rendono subito limpide le principali caratteristiche di un **CCS**.

Tra questi, si segnala la riorganizzazione della funzione di **arresto**, specificando con sufficiente grado di dettaglio: classificazione, requisiti, se trattasi di funzione sicura, effetto provocato, disponibilità, tipo e colore. Attualmente l'identificazione o, meglio, la riconoscibilità di un comando d'arresto non consente un'immediata comprensione delle sue funzioni e relativi livelli di sicurezza: è il caso tipico dei pulsanti di STOP, rossi e neri, normali o a fungo, con o senza sfondo giallo, con scritte variabili (Stop, Emergency stop, safe-stop, switch-off, ecc.). Quindi, il vero problema non è la variabilità delle funzioni ma piut-

tosto l'impossibilità di riconoscerle.

Tra gli arresti, si evidenzia la necessità della presenza dell'**Arresto Generale Sicuro (GSS)**, molto simile all'attuale **pulsante di arresto**, installato a bordo dei radiocomandi, talvolta camuffato da pulsante di emergenza. La sua peculiarità è che si tratta di una funzione sicura ossia safety-related e, come tale, progettata in accordo con l'analisi del rischio.

È stato definitivamente sdoganato il Pulsante di Emergenza (EMS) sui sistemi di comando senza fili, non solo permettendolo ma chiarendo che il suo impiego non può prescindere dall'analisi del rischio e dalla richiesta del *system integrator* (dell'intero equipaggiamento elettrico) di avere tale funzione disponibile in certe condizioni.

Non potendo limitare l'impiego di CCS con bassi livelli di integrità di sicurezza, è stato stabilito che le funzioni safety-related debbano possedere almeno il livello **SIL1/PLC**. In generale, il fabbricante del dispositivo dovrà dichiarare i livelli di sicurezza in accordo alle norme sulla sicurezza funzionale, attestandosi sul minimo oppure fornendo radiocomandi più performanti.

Per quanto concerne, invece, l'**arresto d'emergenza**, la norma CEI EN 62745 prevede la possibilità di disporre il comando di emergenza **nelle stazioni remote dei CCS** a determinate e specificate condizioni (fig. 2.18). Realisticamente, quindi, si riconosce che un CCS possa essere equipaggiato con un comando di emergenza solo se è sicuro e se è disponibile mentre la macchina funziona. In particolare per quest'ultimo requisito, va annotato che tutte quelle situazioni che portano il radiocomando a perdere il controllo della macchina che sta comandando, devono condurre a un arresto automatico che, a sua volta, equivale a fermare la macchina (ad es. in caso di fuoriuscita dallo spazio di funzionamento), come già, peraltro, riportato nella 60204-1.

Diventa pertanto fondamentale comprendere che, se si vuole un arresto di emergenza sulla stazione remota, si deve essere disposti a subire, in caso di perdita del segnale, batteria scarica o malfunzionamento del dispositivo, comandi di arresto di emergenza equivalenti all'azionamento di un pulsante a fungo cablato sul bordo macchina.

In aggiunta ai requisiti di sicurezza nella trasmissione dei dati seriali contenuti nella norma ETSI 300-220-1, si riscontra al paragrafo 4.3:

*In aggiunta, per funzioni di sicurezza di una CCS, la **probabilità di errore residuo**  $\Lambda$  di un errore non identificato per ora deve essere inferiore all' 1% del PFHd (probabilità di guasto*



Figura 2.18: Radiocomando industriale con funzioni di sicurezza. Si noti come il pulsante di arresto di emergenza, in questo caso, è chiaramente identificabile perchè posto in modo disgiunto rispetto a tutti gli altri pulsanti, sulla parte destra del dispositivo.

*pericoloso orario) per una determinata funzione del CCS. La probabilità residua di errore non identificato per ora  $\Lambda$  deve essere calcolato come segue:*

$$\Lambda(P_e) = R(P_e) \times v \times b \text{ [1/h]} \quad (2.4)$$

*dove:*

- $\Lambda(P_e)$ : *probabilità residua di errore non identificato per ora in relazione alla  $P_e$ ;*
- $R(P_e)$ : *probabilità residua di errore non identificato per messaggio in relazione alla  $P_e$ ;*
- $P_e$ : *probabilità di errore in ingresso. Se non può essere provato un valore più ottimistico per la probabilità di errore in ingresso, si usi  $P_e = 1 \times 10^{-3}$ ;*
- $v$ : *numero massimo di messaggi di sicurezza inviati per ora;*
- $b$ : *numero massimo di stazioni base in ascolto.*

### 2.5.2 Nuova terminologia introdotta dalla norma.

Oltre al già richiamato CCS, la CEI EN 62745 introduce alcuni nuovi termini che potranno aiutare l'armonizzazione del mercato e l'adozione di un gergo tecnico comune. Tra questi si evidenziano i seguenti:

- Normalmente, nei radiocomandi la parte del sistema di controllo senza fili che viene utilizzata come stazione di controllo è

talvolta indicata come il "**trasmettitore**", mentre la parte che si interfaccia con il sistema di controllo della macchina è talvolta indicata come la "**ricevente**". Tuttavia, per tener conto della possibilità di comunicazione bidirezionale, la Norma CEI EN 62745 si riferisce rispettivamente a queste singole parti come: "**stazione remota**" e "**stazione base**";

- **Funzione Automatic Stop (ATS)**: Arresto automatico che genera un passaggio della macchina all'Off-state nel caso in cui venga rilevato un guasto di una parte della CCS o non sia stato identificato un segnale valido dalla stazione base;
- **General Safe Stop (GSS)**: Arresto Generale Sicuro che consente un arresto in classe 0 o 1 della macchina, in accordo con la IEC 60204-1;
- **Funzione EMS (Emergency stop)**: Fermata d'emergenza;
- **Off-State**: condizione sicura di un'uscita della stazione base, che è destinata a essere utilizzata per avviare una o più funzioni di arresto di una macchina con cui si interfaccia;
- **Active Stop**: Arresto attivo, provocato dalla trasmissione di un segnale di arresto dalla stazione remota alla stazione di base attraverso un'azione volontaria;
- **Passive Stop**: Arresto passivo, arresto sicuro derivante dalla mancanza di un segnale valido sulla stazione base o dei requisiti per la corretta comunicazione.

Una particolare riflessione va sicuramente fatta sull'aspetto dell'armonizzazione. Infatti la nuova CEI EN 62745 si appresta a diventare armonizzata della Direttiva Macchine in quanto riguarda la **sicurezza** del macchinario dato che, ad oggi, non viene definita tale all'interno dei portali della Commissione Europea.



## TECNICHE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE DI UN RADIOCOMANDO.

---

### 3.1 INTRODUZIONE

Nel capitolo precedente sono state analizzate tutte le regolamentazioni necessarie ai fini di creare un dispositivo industriale in grado di garantire determinati requisiti di sicurezza, sia nei confronti dell'operatore che si trova ad interagire con la macchina automatica a distanza, sia per quanto riguarda la trasmissione dati che deve sempre essere *riservata* e occupare solo *determinate frequenze*.

Nelle norme, tuttavia, non esiste alcun riferimento che possa, in qualche modo, ricondurre a dei requisiti che dovrebbero caratterizzare lo **schema elettrico** di un radiocomando.

Esistono molte aziende che lavorano su questa tipologia di prodotto ed ognuna di esse deciderà, in base a delle determinate strategie tecniche e commerciali, quale soluzione converrà adottare. Il tutto dovrà rispettare le imposizioni normative riguardanti le principali grandezze in gioco, come la [ERP](#) e le frequenze accessibili.

Un altro punto chiave, in fase di progettazione, dovrà essere attribuito al **design** del radiocomando, non tanto riguardante l'estetica, quanto più per concetti legati all' **utilizzabilità** ed all'**ergonomia** ([RES 1.1.6](#) della Direttiva Macchine). Un dispositivo di sicurezza di questo tipo deve in primis essere intuitivo e semplice da utilizzare; infatti l'operatore dovrà sempre avere a portata di mano tutti i comandi e le funzioni da poter trasmettere alla macchina controllata, altrimenti determinate azioni potrebbero essere eseguite con un ritardo non accettabile.

A riprova di ciò, basti pensare all'accadimento di un evento non sicuro; il pulsante dell'arresto di emergenza deve essere facilmente individuabile e sempre accessibile, pena la perdita dei [RES](#) elencati e ribaditi a lungo nella Direttiva Macchine.

Per quanto concerne, l'ergonomia, si deve prestare particolare attenzione, in quanto, per tutta la durata di una giornata lavorativa, l'operatore si troverà a dover utilizzare, probabilmente con brevi soste, il radiocomando. Dunque risulta di rilevante importanza progettare un dispositivo di questo tipo, tale da non recare affaticamento e quindi perdita della facoltà di identificare eventuali situazioni pericolose. Ecco dunque che verranno proposte, nei capitoli successivi, filosofie progettuali adottate da varie aziende analizzandone **pro** e **contro**.

## 3.2 DESIGN E SCHEMA ELETTRICO DI PRINCIPIO DEL TRASMETTITORE.

Il **trasmettitore radio** per definizione è un dispositivo che, sostanzialmente, produce onde radio applicando una corrente alternata ad un'antenna, la quale inizia ad inviare segnali.

Si tratta di un componente essenziale affinché venga instaurata una comunicazione radio tra due o più dispositivi. Nel caso particolare in esame, il trasmettitore, che sarà dotato di adeguata pulsantiera, avrà il compito di inviare comandi all'unità ricevente installata a bordo macchina. Si tratta di un **circuito elettronico** che trasforma una po-

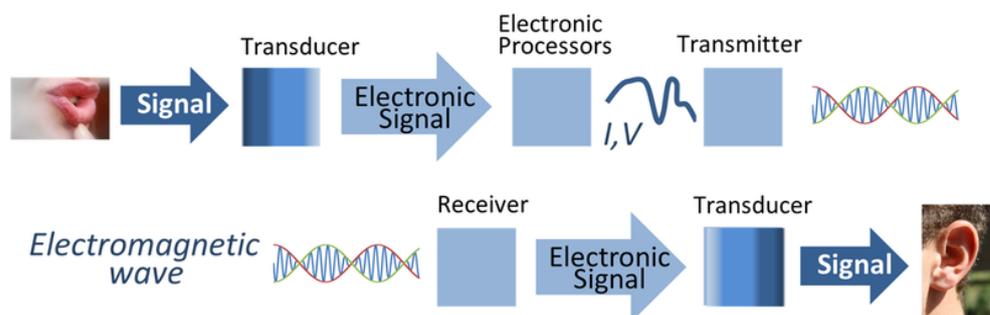


Figura 3.1: Analisi semplificativa della propagazione del segnale in una trasmissione radio.

tenza elettrica, prelevata da una batteria, in una corrente alternata alla frequenza sulla quale si vuole instaurare la comunicazione. Questa corrente cambia continuamente verso, per decine di bilioni di volte al secondo. L'energia prodotta da questa corrente può essere radiata verso l'esterno per mezzo di un conduttore (l'antenna) sotto forma di onda elettromagnetica (onda radio).

Inoltre il trasmettitore inserisce informazioni, come segnali audio/-video, oppure un codice binario che identifica un comando trasferibile ad una macchina automatica, nell'onda radio, la quale trasporta il messaggio fino all'antenna del ricevitore. Quando avviene questo step, le onde instaurano delle correnti alla stessa radiofrequenza. A questo punto, l'unità ricevente avrà il compito di estrarre l'informazione e di renderla leggibile dalla macchina automatica.

Principalmente, un trasmettitore radio è composto da:

- un **circuito di alimentazione**
- un **oscillatore elettronico** (circuiti analogici in fig. 3.2) per generare il segnale radio alla frequenza desiderata. Solitamente viene generata un'onda sinusoidale di ampiezza costante chiamata **portante**, che serve a trasportare l'informazione attraverso lo spazio. Nei trasmettitori moderni questo è costituito da un **oscillatore al cristallo**, in cui la frequenza è precisamente

controllata dalle vibrazioni di un **crystallo di quarzo**. Dal pun-

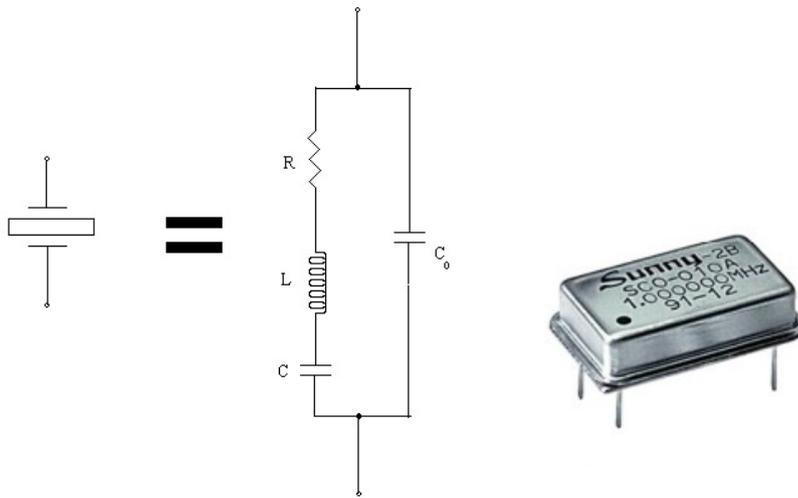


Figura 3.2: Schema elettrico di un oscillatore al quarzo ed immagine commerciale.

to di vista elettrico, questo dispositivo può essere rappresentato da un **condensatore**  $C_0$ , rappresentante l'effetto capacitivo delle due facce metallizzate del crystallo, in parallelo ad un **ramo RLC** che va ad esplicitare le caratteristiche di risonanza elettromeccanica proprie del quarzo piezoelettrico.

Dato che, solitamente vale la relazione

$$C_0 \gg C \quad (3.1)$$

le due frequenze risonanti del circuito diventano circa uguali, alla seguente espressione:

$$f_1 \approx f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.2)$$

A tale frequenza, le impedenze capacitive ed induttive del quarzo si annullano a vicenda e l'impedenza totale equivale, quindi, alla sola resistenza  $R$ .

- un **modulatore** che aggiunge all'onda elettromagnetica, prodotta dall'oscillatore, le informazioni che devono essere trasportate. L'informazione può essere trasmessa sotto forma di segnale **audio/video** o di formato dati come un **segnale binario digitale**.
  - **modulazione in ampiezza (AM)** e **modulazione in frequenza (FM)** di cui si è già parlato nel capitolo introdotivo e utilizzato, nella stragrande maggioranza dei casi, per inviare segnali audio/video;

- **modulazione FSK** (fig. 3.3), utilizzata per trasmettere dati digitali. In questo caso, la frequenza della portante si sposta tra due frequenze che rappresentano i due bit, 0 e 1.

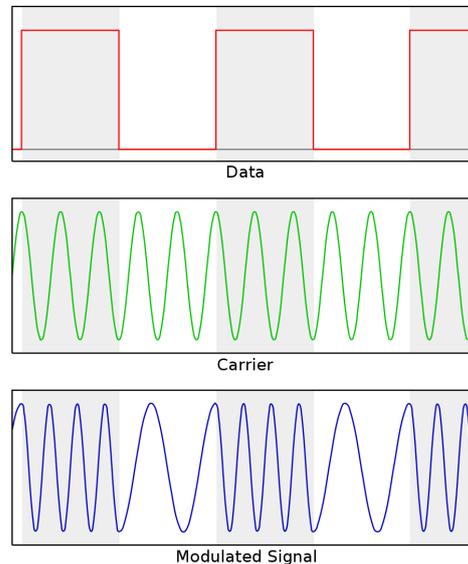


Figura 3.3: Logica di funzionamento di un modulatore FSK.

- un **amplificatore RF** (fig. 3.4) per aumentare la potenza e la frequenza di un segnale, per incrementare il range delle onde radio trasmissibili. Il segnale in uscita dall'oscillatore, la maggior parte delle volte, risulterà ad una frequenza troppo bassa rispetto a quella di lavoro della trasmissione radio.
- un circuito di **adattamento di impedenza** per far coincidere l'impedenza del trasmettitore con l'impedenza dell'antenna, al fine di raggiungere la condizione di massimo trasferimento di potenza. Qualora non vi fosse questo circuito (fig. 3.5), vi sarebbe un'onda riflessa verso il trasmettitore, con possibile danneggiamento della circuiteria elettronica, oltre alla diminuzione della potenza del segnale trasmesso con conseguenze sulla sensibilità in potenza del segnale in ricezione.

Nei trasmettitori che operano nel range di frequenze all'interno delle Ultra High Frequency (UHF), quindi da 300 MHz a 3 GHz, e microwonde, nei progetti più moderni, vengono utilizzati degli oscillatori a cristallo **stabilizzati da un Phase-Locked Loop (PLL)** ad un riferimento in frequenza basso e stabile (approfondimenti in app. C).

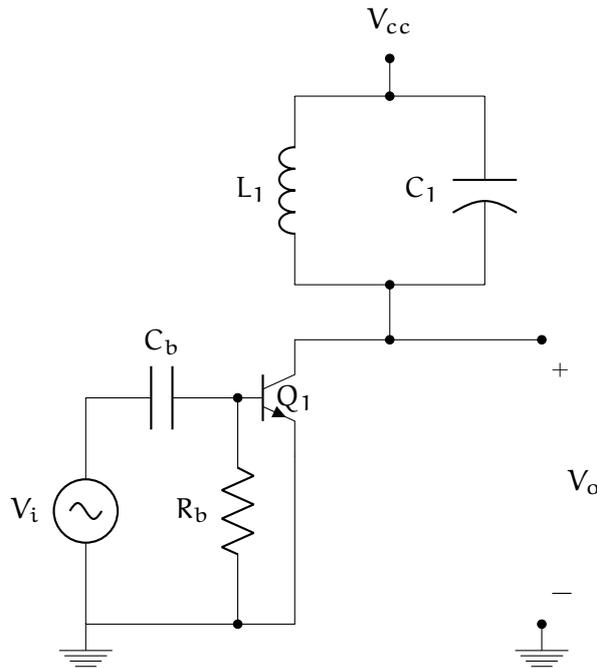


Figura 3.4: Possibile schema elettrico del circuito associato all'amplificatore di potenza e di frequenza del segnale RF. Amplificatore di classe C, che permette di ottenere un'elevata efficienza, minimi ingombri ed un largo utilizzo in campo di trasmissioni RF. I valori di  $L_1$  e  $C_1$  devono essere scelti tali che la frequenza del segnale in ingresso  $V_i$  sia pari a  $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ . Il compito del transistor  $Q_1$  è quello di generare una serie di correnti pulsate e farle fluire nel circuito risonante. La frequenza del segnale in uscita può anche essere raddoppiata scegliendo induttanza e condensatore in modo tale da ottenere una frequenza risonante doppia.

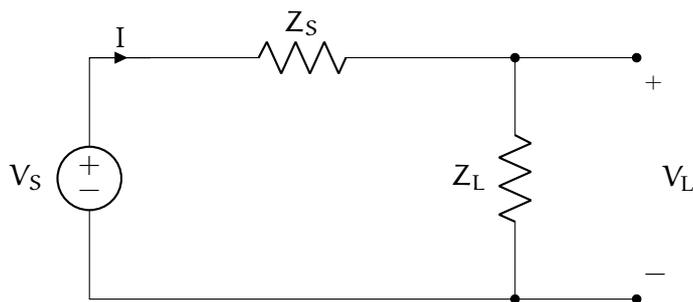


Figura 3.5: Circuito elettrico per ottenere l'adattamento di impedenza. La corrente nel circuito, per la legge di Ohm è pari a  $I = \frac{V_s}{Z_s + Z_L}$ , mentre la tensione in uscita è, secondo il partitore di tensione  $V_L = V_s \frac{Z_L}{Z_s + Z_L}$ . A questo punto, la potenza in uscita sarà  $P = V_L I = \frac{V_s^2 Z_L}{(Z_s + Z_L)^2}$  che risulta massima quando  $Z_L = Z_s$ .

### 3.2.1 Soluzioni pratiche per l'eliminazione di componenti armoniche nei segnali.

A causa di un design inappropriato, la componentistica radiofrequenziale di un radiocomando potrebbe creare delle componenti spettrali che si disperdono in aria, andando di conseguenza a radiare un altro dispositivo.

Tutto l'equipaggiamento elettrico caratterizzato da una componentistica di questo tipo dovrebbe essere inserito all'interno di un contenitore schermato e conduttivo e tutte le connessioni interne od esterne al contenitore dovrebbero essere filtrate per evitare il passaggio di segnali radio.

Il metodo principale di risoluzione di questo problema è legato all'utilizzo di un **condensatore** in grado di cortocircuitare tutte le componenti RF a terra.

Per quanto concerne le **emissioni spurie**, e quindi segnali che escono dal trasmettitore diversi dal segnale desiderato, negli equipaggiamenti moderni ce ne sono di tre tipi:

- armoniche;
- componenti frequenziali prodotte da un *mixer* che non vengono completamente sopresse;
- perdite dall'oscillatore locale (usato con il mixer).

Le **armoniche**, per definizione, sono componenti spettrali multiple della frequenza del trasmettitore e possono essere generate in qualunque stadio non perfettamente lineare.

Al fine di evitare la generazione di questi segnali indesiderati, solitamente, si ricorre all'utilizzo di **filtri passa-basso** del secondo ordine (fig. 3.6). I valori di induttanze ed i condensatori variano in base alla frequenza di trasmissione in uso; molti trasmettitori riescono ad effettuare uno *switch* di tali valori per ottenere un filtro adeguato alla banda di frequenza utilizzata. Lo scopo di questo filtraggio è quello di far passare segnali a frequenze desiderate e ridurre, quindi, le armoniche ad un livello accettabile.

In tal caso, però, si avrebbe un **guadagno infinito** alla frequenza di risonanza

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.3)$$

infatti il **fattore di merito Q** dell'induttore, il quale dipende fortemente dalla presenza di una **resistenza serie** che andrà sempre considera-

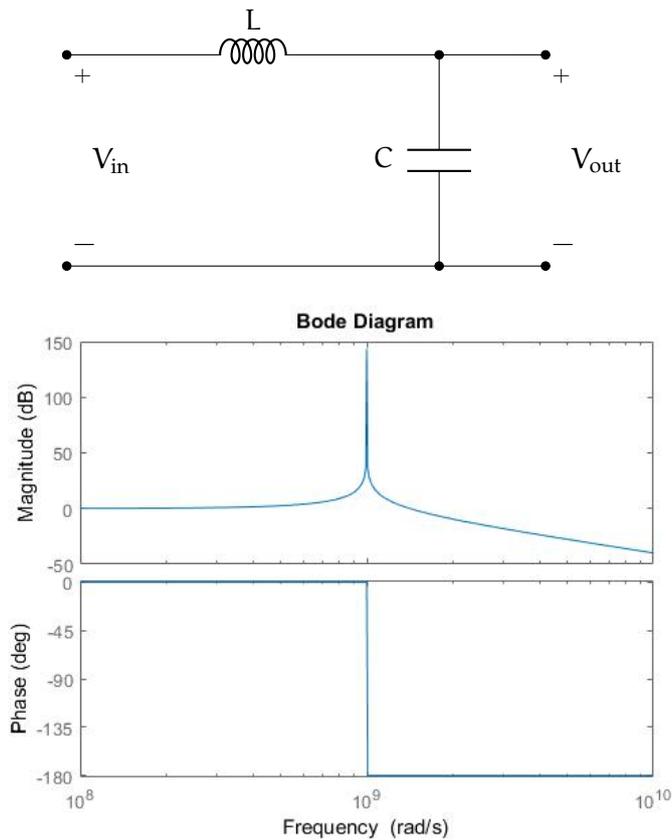


Figura 3.6: Filtro passa-basso (low pass filter) con circuito L-C. La costante di tempo  $\tau = \frac{1}{\omega_0} = \sqrt{LC}$  dipende strettamente da induttanza e condensatore che dovranno essere scelti in modo tale da ottenere una determinata frequenza di taglio e lasciare passare solamente quella desiderata. Sotto lo schema circuitale si presentano i diagrammi di bode di modulo e fase.

ta a causa di **perdite** nel circuito, ma probabilmente non sufficientemente grande da garantire un valore adeguato di  $Q$ , tende all'infinito.

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.4)$$

Una resistenza serie **non nulla**, svolge infatti il ruolo di *damping*, cioè di smorzamento, di fenomeni di oscillazione dovuti a risonanze tra elementi induttivi e capacitivi nel circuito. Se dovesse arrivare in ingresso al ricevitore un segnale a frequenza  $f_0$ , come ad esempio un rumore od un disturbo, può portare a tensioni di uscita così grandi da causare malfunzionamenti o, addirittura, danneggiamenti al circuito di carico (fig. 3.7).

Nella pratica, non si inseriscono mai resistori nel circuito, ma si va a scegliere un induttore con un fattore di merito basso che va a determinare un'elevata resistenza intrinseca.

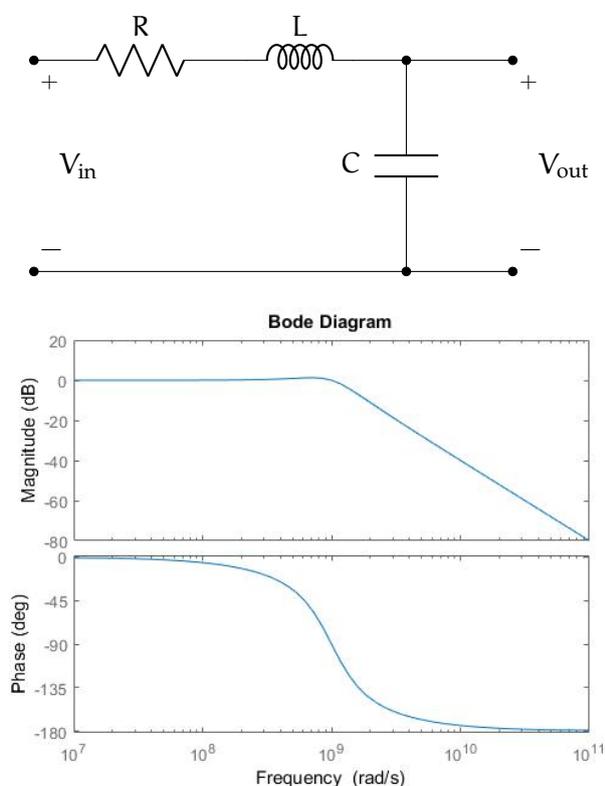


Figura 3.7: Filtro passa-basso (low pass filter) con circuito R-L-C. Sotto lo schema circuitale si presentano i diagrammi di bode di modulo e fase.

In alcuni casi, risulta opportuno un filtraggio aggiuntivo per proteggere dei range di frequenza molto sensibili come quelli utilizzati per le imbarcazioni o servizi coinvolti nella salvaguardia della vita e della proprietà.

### 3.3 DESIGN E SCHEMA ELETTRICO DI PRINCIPIO DEL RICEVITORE

L'unità ricevente funziona in modo diametralmente opposto rispetto al trasmettitore. Il suo scopo è quello di ricevere onde radio e convertire le informazioni trasportate dalle stesse in una forma utilizzabile. Nel caso del radiocomando industriale con funzioni di sicurezza, l'unità ricevente dovrà acquisire onde radio provenienti dall'unico dispositivo ad essa associato ed estrapolare il segnale binario corrispondente ad un particolare comando da trasferire in seguito alla macchina automatica.

Il componente in grado di intercettare le onde radio è l'antenna, che le converte in **tensioni alternate** le quali vengono applicate al ricevitore e, di conseguenza, verranno estratte le informazioni come descritto in seguito.

Il ricevitore utilizza **filtri** per separare la radiofrequenza desiderata da altre forme di segnale captati dall'antenna, un **amplificatore** per aumentare la potenza del segnale prima di processarlo ed, infine, recupera l'informazione desiderata grazie ad un **demodulatore**.

Un ricevitore radio è connesso all'antenna che riesce a convertire parte dell'energia dell'onda radio in ingresso, ad una certa frequenza, in una tensione alternata. Solitamente l'antenna è composta da conduttori metallici disposti in un certo modo. I campi magnetici dell'onda radio spingono, a questo punto, elettroni nella parte anteriore e posteriore dell'antenna, andando a creare una **tensione sinusoidale**.

Dal punto di vista pratico, i ricevitori radio esercitano tre funzioni sul segnale in ingresso, come detto in precedenza: **filtraggio, amplificazione e demodulazione**.

- **Filtraggio passa-banda**

Istante per istante nell'aria transitano moltissime onde radio, provenienti da molti trasmettitori, senza creare la minima interferenza l'uno con l'altro. Tutto ciò è possibile perchè, ipotizzando si tratti di segnali tutti a frequenza diversa, all'interno del ricevitore si trova un **filtro passa-banda** (fig. 3.8) attraverso il quale si riesce a far passare solo la frequenza desiderata ed a bloccare l'ingresso di tutti gli altri segnali. La funzione di trasferimento del filtro risulta essere pari all'opposto (configurazione invertente) del rapporto tra l'impedenza di uscita, data dal parallelo di  $R_2$  e  $C_2$ , e quella in ingresso, data dalla serie di  $C_1$  ed  $R_1$ :

$$T(s) = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = -\frac{\frac{R_2}{1+sC_2R_2}}{\frac{1+sC_1R_1}{sC_1}} = -\frac{sC_1R_2}{(1+sC_2R_2)(1+sC_1R_1)} \quad (3.5)$$

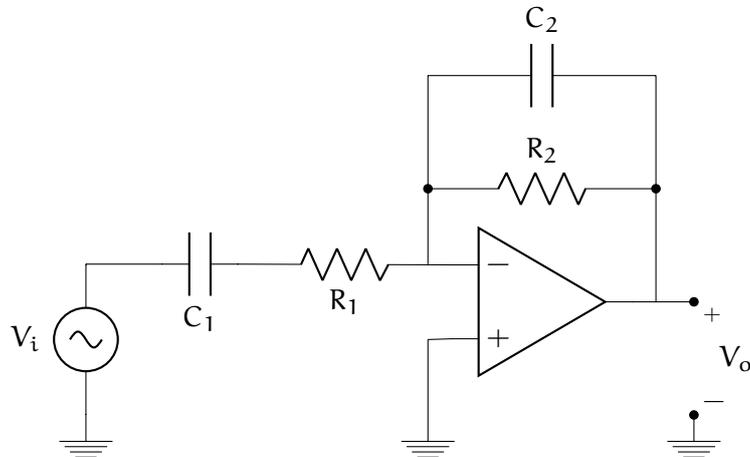


Figura 3.8: Schema circuitale del filtro passa-banda, realizzato mediante amplificatore operazionale in configurazione invertente.

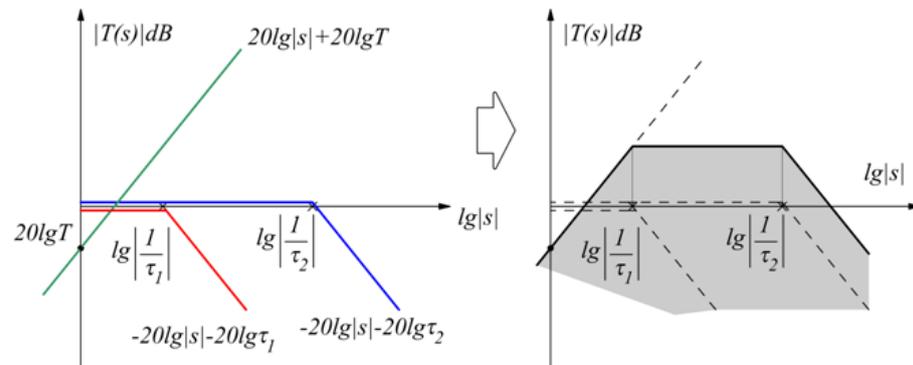


Figura 3.9: Diagrammi di Bode del filtro passa-banda. Si noti la presenza di uno zero nell'origine che genera una retta con pendenza 20 dB/dec; alla frequenza  $1/\tau_1$  lo zero si elide con il polo ed, infine, in  $1/\tau_2$  si trova un altro polo che conferisce una pendenza di -20 dB/dec.

A questo punto, con dei semplici passaggi algebrici si ottiene che:

$$|T(s)| = \frac{R_2}{R_1} \frac{sC_1R_1}{(1 + sC_2R_2)(1 + sC_1R_1)} = K \frac{sT}{(1 + s\tau_2)(1 + s\tau_1)} \quad (3.6)$$

con  $C_1R_1 = \tau_1$  e  $C_2R_2 = \tau_2$ . In fig. 3.9 viene riportato il diagramma di Bode della funzione di trasferimento del filtro con  $\tau_2 < \tau_1$ . Questo circuito è molto utile dal punto di vista didattico per capire il funzionamento del filtraggio passa-banda; tuttavia, visti i limiti di lavoro dell'amplificatore operazionale a frequenze elevate, tipiche della comunicazione radio con radiocomandi, si rivela necessario utilizzare un filtro composto da soli **elementi passivi**: induttanze e condensatori in serie/parallelo che vadano a creare delle impedenze in grado di replicare la funzione di trasferimento trattata in precedenza, ma con pendenze diverse, in quanto impedenze LC serie o LC parallelo danno origine a zeri/poli doppi, corrispondenti a 40 dB/dec. Un esempio è visibile in fig.3.10.

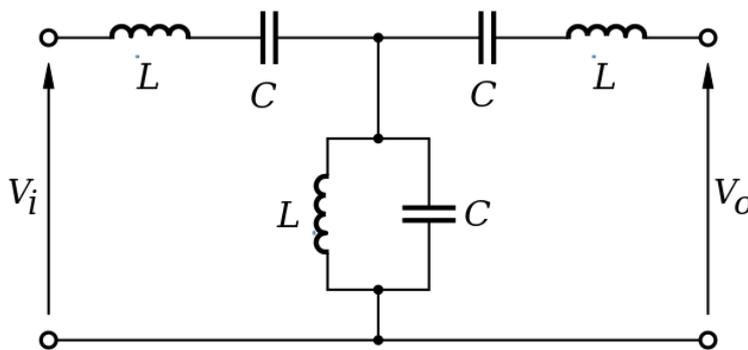


Figura 3.10: Schema circuitale di un filtro passa-banda realizzato con bipoli passivi.

- **Larghezza di banda e selettività**

In realtà, l'informazione in una trasmissione radio è contenuta in due strette bande di frequenza chiamate **bande laterali** che si trovano a destra ed a sinistra rispetto alla frequenza della portante (fig. 3.11) Quindi il filtro dovrà avere una certa **larghezza di banda**, differenza tra le due frequenze di taglio, ottenuto prendendo come riferimento del segnale -3dB. Dunque sarà molto importante dimensionare correttamente il filtro affinché la larghezza di banda risulti sufficientemente grande da far ospitare le bande laterali senza distorsioni, ma stretta abbastanza per bloccare qualsiasi trasmissione su frequenze adiacenti. Questa abilità da parte del ricevitore di rifiutare le frequenze non volute viene chiamata **selettività**. Il *modus operandi* del filtro può essere osservato in 3.12;

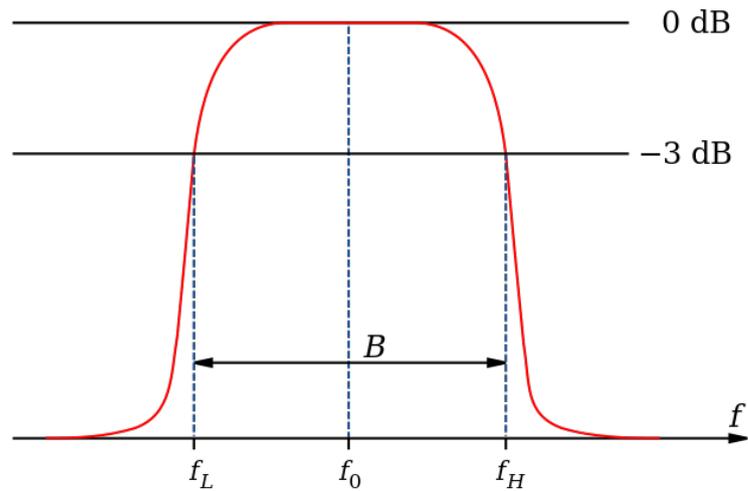


Figura 3.11: Diagramma del modulo della funzione di trasferimento tipica di un filtro passa-banda. Per frequenze minori e maggiori di  $f_0$ , fino alle frequenze di taglio  $f_H$  ed  $f_L$ , si deve essere all'interno delle bande laterali. La larghezza di banda del filtro viene chiamata  $B$ .

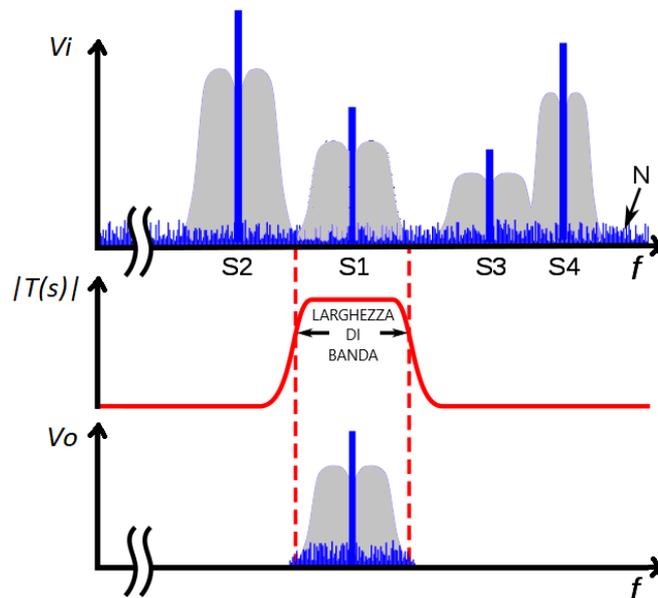


Figura 3.12: Azioni del filtro passa-banda nella fase di acquisizione del segnale. Con  $V_{in}$  viene indicata la tensione del segnale in ingresso;  $V_o$  è pari alla tensione del segnale che verrà amplificato in seguito;  $T$  è la funzione di trasferimento del filtro, mentre  $N$  indica il rumore bianco.

- **Amplificazione**

La potenza dell'onda radio in ingresso al ricevitore cala con il quadrato della distanza dal trasmettitore e, quindi, per aumentare la potenza del segnale intercettato, un **amplificatore** scala la potenza elettrica rendendola uguale al segnale di partenza. Il grado di amplificazione viene scelto in base ad un parametro chiamato **sensibilità**, che è la più piccola potenza associata ad un segnale che l'antenna è in grado di captare, misurata in microvolt ( $\mu\text{V}$ );

- **Demodulazione**

Una volta che il segnale acquisito è stato filtrato ed amplificato, il ricevitore deve estrarre le informazioni dall'onda radio portante. Questo è possibile grazie ad un circuito chiamato **demodulatore**. In base al tipo di segnale che si intende ricevere, viene scelto il demodulatore a cui verrà associato un determinato circuito. Una possibilità passa per l'utilizzo di uno *slope detector* (fig. 3.13), il più semplice dei demodulatori, che presenta sicuramente vantaggi per quanto concerne la semplicità di realizzazione e la facoltà di poter non utilizzare altri circuiti, ma presenta uno svantaggio molto penalizzante: tutte le variazioni di ampiezza e frequenza in ingresso, nonché rumori e non linearità, vengono trasferite all'uscita dove dovranno essere filtrate.

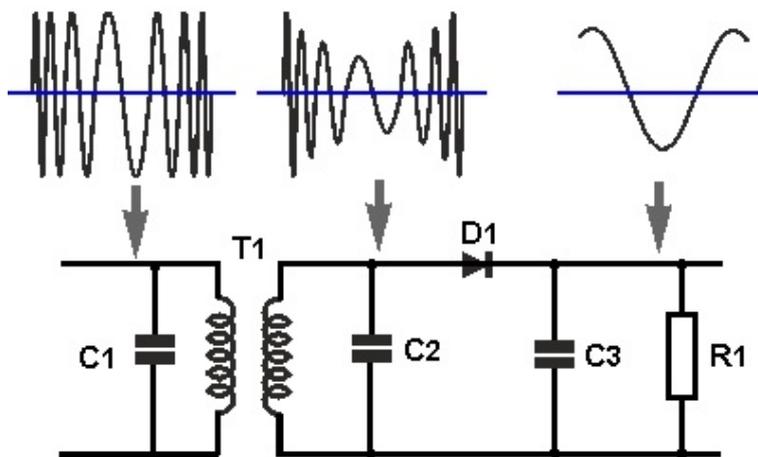


Figura 3.13: Schema circuitale del demodulatore *slope detector*.

Solitamente il segnale in uscita dal demodulatore viene amplificato e poi l'informazione viene riconvertita in una forma utilizzabile da determinati tipi di trasduttore. Per esempio, i dati digitali vengono passati ad un **PLC** che farà muovere la macchina automatica in un certo modo.

### 3.3.1 Tecnica di conversione supereterodina

Nonostante esistano in letteratura molti tipi di tecniche di conversione dei ricevitori, inventate tra il XIX e il XX secolo, quella che ha preso più piede, nonché la più utilizzata attualmente è la **supereterodina**, brevettata da Edwin Howard Armstrong nel 1918.

Negli apparecchi radio è necessario selezionare la sola frequenza di ricezione e questo richiederebbe l'utilizzo di uno specifico filtro per ciascuna delle stazioni che si vogliono ricevere. Questo era l'approccio utilizzato fin dall'inizio, ma con l'aumentare di anno in anno delle frequenze alle quali venivano irradiati i segnali, questo approccio sarebbe stato antieconomico e avrebbe potuto comunque fornire solo un numero limitato di stazioni ricevibili.

Si pensò, quindi, ad un sistema in grado di convertire le frequenze ricevute ad una frequenza fissa chiamata **frequenza intermedia**  $f_i$  alla quale avrebbero lavorato tutti i circuiti di demodulazione e filtraggio. Per fare questo, i ricevitori supereterodina sfruttano un particolare circuito chiamato **mixer**, all'ingresso del quale si pongono il **segnale proveniente dall'antenna**, il quale sarà processato da un filtro a radio frequenza a banda larga centrato su una frequenza  $f_s$ , ed un segnale generato da un oscillatore locale (LO) ad una frequenza  $f_L$  tale che:

$$f_i = f_L - f_s \quad (3.7)$$

Quando su un ricevitore supereterodina azioniamo i comandi di sintonia, quindi, andiamo a variare sia la  $f_s$  del primo filtro, sia la  $f_L$  dell'oscillatore locale per mantenere sempre verificata l'eq. 3.7.

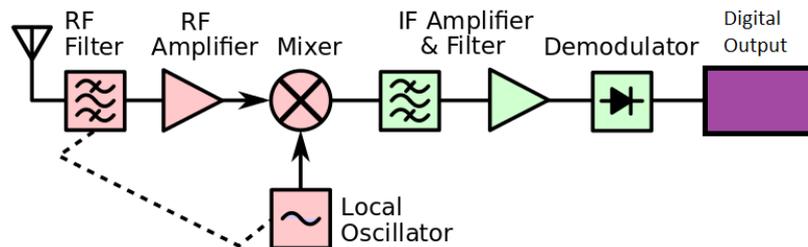


Figura 3.14: Schema a blocchi del ricevitore con tecnica di conversione supereterodina.

Il mixer sottrae le frequenze dei due segnali e restituisce sempre un segnale con il contenuto informativo del segnale prelevato dall'antenna, ma traslato alla frequenza intermedia. In particolare, si sfrutta una proprietà trigonometrica (formula di Werner) per la quale il prodotto tra due segnali sinusoidali è scomponibile nella somma di due sinusoidi, la prima con frequenza pari alla differenza dei due segnali prodotto, e la seconda con frequenza pari alla somma.

Si presenta, tuttavia, un problema nell'utilizzo di questa tecnica di conversione; infatti, in presenza di  $n$  segnali all'ingresso del blocco RF,

vi è la possibilità di selezionare un solo segnale, ma potrebbe essere che un segnale adiacente, sotto forma di disturbo, passi attraverso il filtro passa banda, anche se molto selettivo, posto nel blocco mixer (in rosa in 3.14). Questo evento si chiama **problema della banda immagine**.

Dalle formule di Werner si ricorda che:

$$\cos(\alpha)\cos(\beta) = 1/2[\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)] \quad (3.8)$$

e, quindi, otterremo due componenti per ogni segnale entrante:

- una ad alta frequenza  $\cos(2\pi(f_s + f_L)t)$
- una a bassa frequenza  $\cos(2\pi(f_s - f_L)t)$

La componente ad alta frequenza verrà sicuramente filtrata, mentre per quella a bassa frequenza bisognerà tener conto del fatto che  $\cos(\alpha) = \cos(-\alpha)$  e che, di conseguenza la differenza di frequenze (3.7) di un segnale non voluto, potrebbe coincidere con la frequenza intermedia  $f_i$ . Si renderà necessario inserire un sintonizzatore sulla frequenza  $f_s$  in modo da filtrare a monte del blocco mixer le componenti che non faranno parte del segnale utile.

### 3.3.2 Automatic Gain Control (AGC)

Tutti i ricevitori moderni a supereterodina sono caratterizzati da un **sistema di controllo in catena chiusa** che monitora il livello medio del segnale radio al demodulatore ed aggiusta il guadagno degli amplificatori per garantire un livello di segnale ottimale per la demodulazione.

Questa implementazione viene chiamata **Controllo Automatico del Guadagno (AGC)**. Per capirne il funzionamento si può pensare al meccanismo di adattamento dell'occhio umano agli ambienti a bassa luminosità, secondo cui, entrando in una stanza buia, il "*guadagno dell'occhio*" aumenta grazie all'apertura dell'iride.

All'atto pratico, nella sua forma più semplice, un **AGC** consiste in un **raddrizzatore** che trasforma il segnale a radio frequenza in un segnale continuo grazie ad un filtro passa-basso. Questo viene applicato come segnale di controllo ad una fase di amplificazione precedente per controllarne il guadagno.

In particolare, in un ricevitore con tecnica di conversione a supereterodina **AGC** è solitamente applicato all'amplificatore della frequenza intermedia (IF amplifier) e poi potrebbe esserci anche una seconda catena **AGC** per controllare il guadagno dell'amplificatore in ingresso (RF amplifier) per proteggerlo da un possibile sovraccarico.

Nei moderni ricevitori digitali, questa tecnica di controllo serve anche a risolvere il problema dell'**offset continuo** del segnale.

Di seguito, in fig. 3.15 si mostra lo schema a blocchi di ricevitore con tecnica di conversione supereterodina in cui viene utilizzato un controllo *AGC* per regolare i guadagni di entrambi gli stadi di amplificazione.

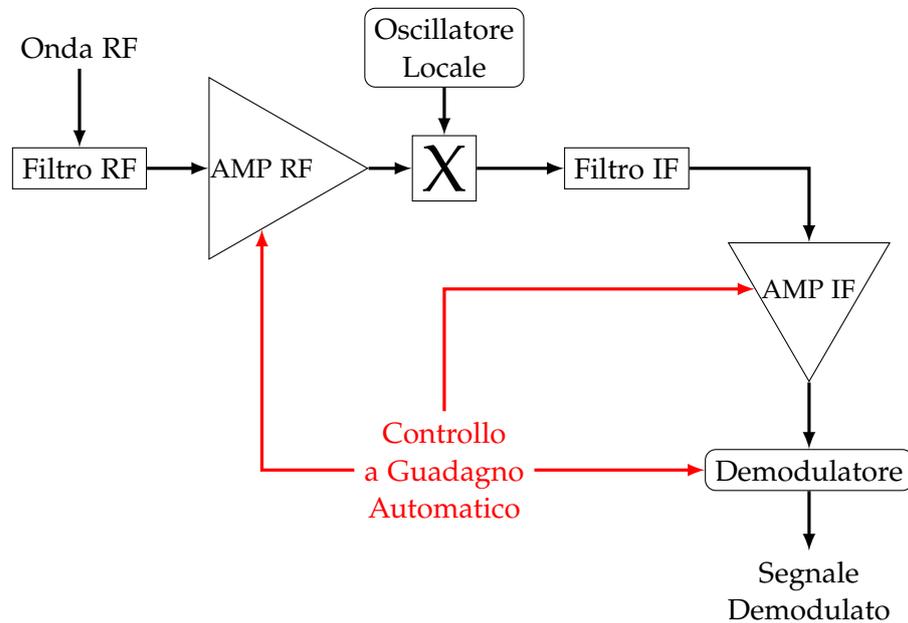


Figura 3.15: Schema a blocchi del controllo *AGC* applicato ad entrambi gli stadi di amplificazione di un ricevitore supereterodina.

### 3.4 CARATTERISTICHE FUNZIONALI DI UN RADIOCOMANDO INDUSTRIALE

Lo scopo principale di questo paragrafo è quello di stabilire le principali caratteristiche funzionali di un radiocomando, quindi di comprendere se le tecnologie utilizzate siano adatte o meno a coprire tutte le funzionalità richieste da una determinata applicazione, in base all'analisi del rischio.

Sicuramente l'aspetto estetico non rappresenta un fattore rilevante nella scelta, ma ci sono due caratteristiche che possono essere analizzate ad occhio nudo, a primo impatto:

- il pulsante di Stop è ad **aggancio meccanico**? Analogamente a tutti i pulsanti di Stop, quelli dei controlli radio devono essere formati da contatti a rottura positiva normalmente chiusi, come visto in precedenza. Una volta attivato, il pulsante di Stop deve essere riportato in posizione di normalmente aperto prima di ricominciare ad utilizzare il radiocomando;

- vengono utilizzate **batterie ricaricabili** per l'alimentazione? I più sicuri radiocomandi di sicurezza le utilizzano per una semplice ragione: una volta attivati, devono continuamente trasmettere informazioni, anche se non è attivo alcun comando, quindi si è coperti anche nel caso in cui la comunicazione tra ricevitore e trasmettitore venisse a mancare; mentre, radiocomandi che non utilizzano batterie ricaricabili trasmettono solamente quando viene premuto un pulsante. In quest'ultimo caso vi sarebbe un minor consumo ed in una vita della batteria maggiore, ma a scapito di una sicurezza molto ridotta.

#### 3.4.1 Sicurezza nelle comunicazioni digitali.

Come già ripetuto in precedenza, un sistema di controllo remoto è composto da due unità: il trasmettitore (stazione remota) ed il ricevitore (stazione base). Il primo accetta comandi dall'operatore mediante pulsanti, joystick ed altri dispositivi e codifica questi comandi in un messaggio da inviare al secondo, il quale intercetta il messaggio e lo decodifica per estrarre i comandi da trasferire alla macchina controllata.

Nella maggior parte dei casi il *frame* viene inviato su un collegamento radio, ma altri dispositivi che utilizzano l'infrarosso o la fibra ottica, inviano e ricevono nel medesimo istante. Un controllo *wireless* deve proteggere il collegamento tra trasmettitore e ricevitore da molti potenziali rischi come interferenze elettromagnetiche ed eventuali rumori. Inoltre, il sistema, dovrà garantire la protezione della comunicazione anche in caso di guasto.

Per quanto concerne la gestione degli errori di comunicazione, ogni radiocomando deve possedere un **algoritmo di identificazione degli errori**; in particolar modo, ogni messaggio inviato dovrà contenere ulteriori informazioni che saranno oggetto di un controllo.

Vi sono molti metodi matematici per l'identificazione dell'errore in letteratura che variano molto in complessità ed efficienza. L'idea di principio è che **una piccola variazione del messaggio inviato determina una grande variazione nel messaggio ricevuto**. Questo minimizza la possibilità che due errori possano eliminarsi a vicenda, facendo sembrare corretto il messaggio danneggiato. Come già accennato in precedenza, l'efficienza di un sistema di sicurezza si misura con la **distanza di Hamming** (vedi [A](#)), che corrisponde alla distanza in bit tra il messaggio di partenza e quello di arrivo.

La gestione della **concorrenza** con altri dispositivi wireless è altrettanto importante da gestire. Mentre per sistemi che comunicano via cavo vengono utilizzati dei protocolli di trasmissione dati comuni come Profibus, Canbus ed EthernetIP, in un controllo remoto, dato che

la comunicazione è libera, si deve garantire che il ricevitore non sia esposto a messaggi trasmessi da altri sistemi di controllo remoto. In questi casi, l'uso di un protocollo standard aumenta il rischio che un sistema esterno risponda alla comunicazione in atto, decodifichi ed accetti un messaggio inviato dal radiocomando in uso. L'utilizzo, quindi, di un **sistema proprietario** aiuta a proteggere da interferenze causate da sistemi esterni. Tuttavia, in caso di utilizzo di sistemi dello stesso produttore, deve essere previsto un **codice univoco** che va ad identificare la coppia trasmettitore/ricevitore.

Anche la scelta della frequenza su cui scambiare dati è fondamentale e comporta una migliore e più efficiente organizzazione dello spettro, motivo per cui esso è diviso in **canali** che devono essere sufficientemente grandi per evitare interferenze. Per alcuni dispositivi radio di fascia bassa, cambiare la radio frequenza su cui sintonizzarsi, implica la completa sostituzione di moduli interni o componenti. Una soluzione migliore consente di scegliere il canale più adeguato attraverso dei **sintetizzatori di frequenza**, in questo modo ci si può spostare grazie a degli switch, o selettori rotativi, oppure con una procedura particolare o, eventualmente, cambiando automaticamente ad ogni avvio. Tipicamente sono previsti **32 canali non sovrapposti**.

Tuttavia, con il continuo aumentare dei dispositivi che condividono lo spettro radio, la gestione dei canali non è poi così semplice. Ecco perché, ad oggi, sono previste delle tecniche di scelta autonoma della frequenza più adatta; infatti, se si va ad installare un ricevitore nel trasmettitore, ottenendo un **trasricevitore**, si può ottenere la capacità di autoselezione del canale, dato che questo dispositivo riesce anche a monitorare la quantità di traffico in ogni singolo canale e sceglie il meno occupato. La selezione può essere eseguita all'inizializzazione del sistema, oppure continuamente durante il funzionamento.

Come già accennato in precedenza, la funzione di sicurezza primaria di un radiocomando industriale deve essere definita dalla facoltà di portare la macchina in uno **stato sicuro**. Anche la protezione della funzione di Stop contro i guasti di sistema è altrettanto critica, ma, tutto ciò, non basta per raggiungere la condizione di **sistema sicuro**. L'operatore potrebbe compiere azioni indesiderate, all'interno dell'ambiente di lavoro, oppure potrebbe non reagire in tempo davanti ad una situazione di pericolo. A tal fine, ci sono degli accorgimenti molto intuitivi che si devono prendere, come, ad esempio, prevedere uno **spegnimento** del dispositivo dopo essere stato in *idle* per un certo arco di tempo. Tuttavia, ancora una volta, questo non è sufficiente a garantire una sicurezza completa al sistema; il radiocomando, infatti, deve essere protetto anche da guasti che potrebbero causare movimenti inattesi della macchina, senza richiedere all'operatore di

attivare una funzione di stop.

Per questa ragione, le performance di sicurezza di un radiocomando vengono valutate attraverso la gestione di **due tipi di situazione**:

- Guasto della funzione di Stop;
- Protezione dello Stato Neutro (UMFS).

#### 3.4.2 *Accorgimenti costruttivi di sicurezza.*

Per quanto concerne la prima delle due situazioni, molto frequente peraltro, una soluzione assolutamente collaudata riguarda l'utilizzo di **meccanismi ridondanti**. Infatti si vanno ad installare due canali di Stop in uscita che possono portare indipendentemente la macchina in uno stato sicuro. Certamente si tratta di una soluzione migliore rispetto all'utilizzo di una singola uscita, ma non è la soluzione definitiva; infatti se, a seguito di un guasto su un canale non dovesse venir segnalato che il radiocomando sta lavorando con un solo canale di Stop, non si sarebbe più in grado di affrontare un secondo guasto, perchè verrebbe a mancare la condizione di ridondanza. Serve, di conseguenza, un monitoraggio continuo di entrambi i canali di Stop per rilevare eventuali guasti e segnalarli opportunamente. Questo accorgimento prende il nome di **ridondanza con self-monitoring** che deve essere presente in sistemi di controllo remoto di macchine per lo spostamento di masse rilevanti.

Il canale di Stop dovrà poi utilizzare un relè particolare, che prende il nome di **relè di sicurezza**; si tratta di relè con contatti a **guida forzata** analizzati in precedenza: se un set di contatti si sposta nella posizione ON, l'altro set non può tornare nella posizione di normalmente chiuso, come visibile in fig. 3.16.

In questo modo il sistema di controllo riesce a capire cosa sta facendo un set di contatti monitorando l'altro set. Questo semplifica di molto il design del circuito di sicurezza ed evita l'utilizzo di un set come switch di potenza e l'altro per il monitoraggio.

Per quanto riguarda in canali in ingresso ci vuole particolare attenzione. Infatti è richiesta una protezione del trasmettitore contro i guasti del proprio circuito elettronico, causando movimenti indesiderati. Anche in questo caso, la ridondanza gioca un ruolo fondamentale:

- alcuni tipi di radiocomandi utilizzano **due attuatori fisici** (ad esempio due pulsanti) che controllano due canali differenti per la conferma del comando;
- altri utilizzano **due attuatori elettricamente e meccanicamente separati** che garantiscono un più alto livello di sicurezza perchè garantiscono protezione dai guasti meccanici come, ad esempio, molle rotte, contatti che si incollano, cavi in cortocircuito.

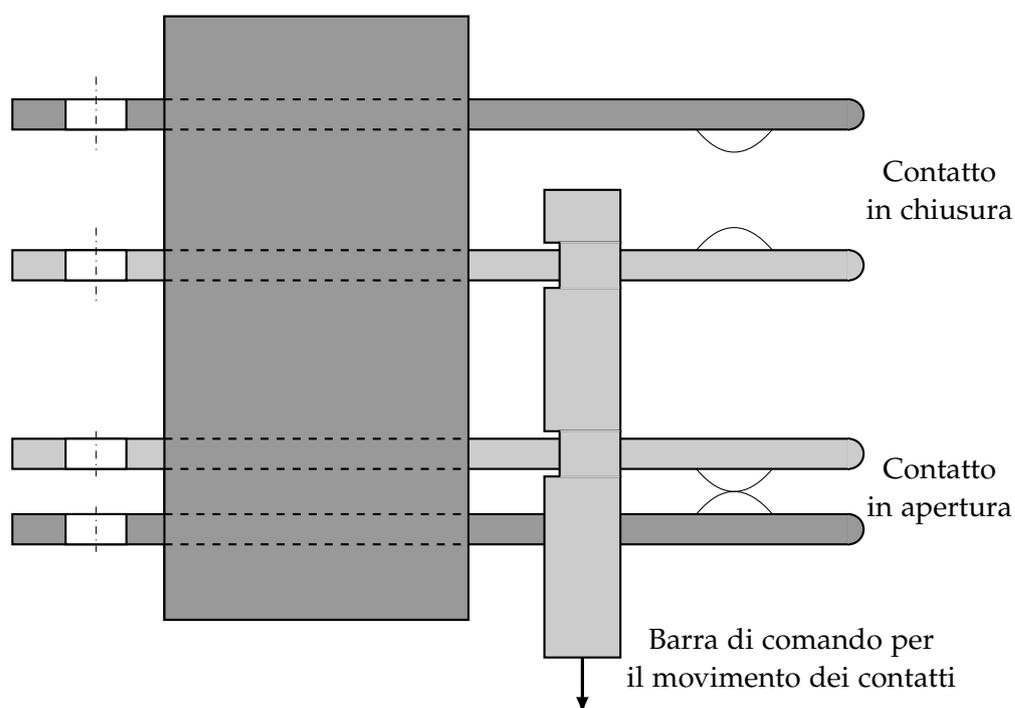


Figura 3.16: Esempi di contatti di scambio ad azione guidata.

Come già lungamente spiegato in precedenza, un sistema di controllo radio remoto deve avere anche una funzione di **Stop passivo**, nel caso in cui, ad esempio, il ricevitore non riesca a ricevere un messaggio dal trasmettitore entro un certo periodo temporale; in tal caso si realizzerà una codizione di fermata. Il dispositivo, all'interno del ricevitore, che si occupa di capire se i messaggi in entrata siano validi o meno, è il **decoder**.

Analogamente ai canali di Stop, anche il decoder dovrà essere protetto allo stesso modo. Infatti è prevista una duplicazione dello stesso, ognuno dei quali sarà caratterizzato da un'architettura **bicanale**, come identificabile nella norma UNI EN ISO 13849: Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza, in modo tale che se entrambi i decoder non ritengono valido il messaggio ricevuto, si dovrà generare un arresto passivo.

Molti radiocomandi in commercio, sono caratterizzati da un ricevitore che non soddisfa questo requisito, dato che sono dotati di un solo decoder che, in caso di guasto, non farebbe operare correttamente la funzione di Stop del circuito. Sistemi di questo tipo sono vulnerabili sia dal punto di vista *software* (es. dati corrotti), sia da quello *hardware*.

La situazione è analoga andando a considerare la protezione contro movimenti non intenzionali; in tal caso è necessario l'utilizzo della ridondanza, non solo quella legata alle funzioni di Stop, ma anche tutte le altre funzioni di sicurezza implementate dal decoder. Un sistema composto da due decoder con un sistema di **voto** è essenziale

per proteggere il sistema da guasti *hardware*: entrambi devono essere d'accordo sulla decodifica di un comando, altrimenti non verrà eseguita alcuna azione. Questo, però, non potrà mai coprire le cause più comuni di guasto o guasti sistematici. Ad esempio, se entrambi i decoder avranno un determinato problema ad una certa temperatura di lavoro, entrambi si guasteranno a quella temperatura. Oppure, se lo stesso programma difettoso gira in entrambi i decoder, loro saranno sempre d'accordo, ma potrebbero aver torto entrambi.

Si potrebbero adottare delle strategie software per provare a ridurre il rischio, come l'utilizzo di *watchdogs* che, dopo un certo tempo scelto in base all'analisi dei rischi, alzano un flag andando ad interrompere la trasmissione dati, oppure dei programmi secondari che controllano l'integrità dei dati e del programma in esecuzione, ma non è verosimile che tutto ciò possa raggiungere il livello di sicurezza richiesto. Per livelli di integrità più alti, i due decoder devono essere "diversi" dal punto di vista *hardware*, ovvero sia l'*hardware* sia il *software*, che sta girando nei due, dovranno essere diversi. Questa è una delle principali tecniche per acquisire sicurezza in un sistema di controllo remoto.

Si è appena discussa l'importanza di assicurarsi che il messaggio sia ricevuto e decodificato correttamente e che, tutto ciò, può essere raggiunto attraverso l'utilizzo di due decoder diversi in parallelo. Questo sembrerebbe sufficiente a garantire una protezione elevata e, quindi, non sia necessario utilizzare un doppio canale di encoder nel trasmettitore. Si può giustificare ciò notando che se si spegnesse il trasmettitore con un **relè a rottura positiva**, esso smetterebbe di trasmettere. Con l'utilizzo di due decoders nel ricevitore, si sa che almeno uno dei due sarà in grado di identificare una lacuna nella comunicazione e, di conseguenza, genererà una condizione di Stop. Quindi si è in grado di ottenere un livello base di protezione dal guasto, attraverso l'arresto passivo, utilizzando un sistema con due decoders ed encoder singolo nel trasmettitore.

La situazione cambia se si vuole assicurare una protezione contro l'**UMFS** e dello **Stop attivo**. Si ipotizzi che il messaggio risulti correttamente strutturato ed inviato, ma contenga dei comandi errati per un guasto sull'elettronica, che si occupa della parte di codifica, del trasmettitore. In una situazione del genere, l'utilizzo di due decoders non aiuterebbe, quindi vi è la necessità di garantire ridondanza anche nel trasmettitore per proteggere il sistema da guasti che possano determinare movimenti inattesi. Viene, quindi, ribadito il concetto di **elevato livello di sicurezza legato alla ridondanza** dei componenti utilizzati.

Per garantire anche la protezione contro l'UMFS non basta questo, serve anche una ridondanza nei canali di uscita per i comandi di motion della macchina. Si potrebbe duplicare individualmente ogni comando, ma c'è da raggiungere il giusto bilanciamento tra affidabilità e sicurezza. Se si duplicasse ogni output, si avrebbe una complessità doppia nella progettazione del circuito, anche se si avrebbe un piccolo vantaggio per quanto concerne il monitoraggio delle uscite per possibili guasti. Un buon compromesso tra affidabilità e complessità sta nel prevedere uscite aggiuntive che rimuovono potenza agli azionamenti della macchina nel caso in cui nessun comando di motion sia attivo. In questo modo il sistema risulta protetto da certi guasti sull'output, come, ad esempio, cortocircuiti, con un sistema relativamente semplice.

Se l'output di conferma è duplicato e monitorato, può essere raggiunto un elevatissimo livello di protezione contro movimenti inattesi.

Di seguito, in fig. 3.17 viene riportato uno schema di principio di come devono essere progettati i radiocomandi industriali con funzioni di sicurezza a valle di tutte le caratteristiche appena enunciate.

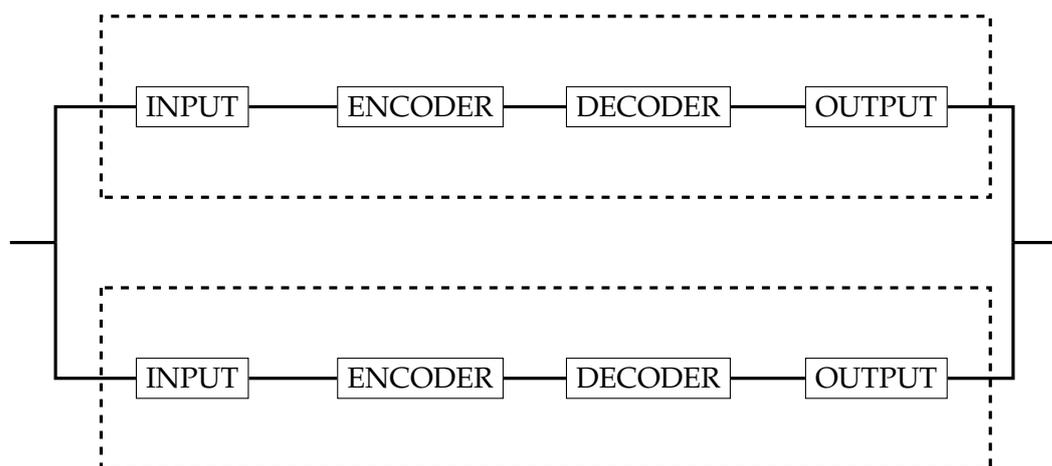


Figura 3.17: Schema a blocchi di un sistema di controllo remoto. Un sistema a singolo canale fallirà se un suo sottosistema fallisce; in un sistema bicanale (anche chiamato ridondante) dovrebbero accadere due guasti, uno in ogni canale prima che il sistema fallisca.

### 3.5 CRITERI DI PROGETTAZIONE EMC

Come già ampiamente detto e discusso in precedenza, un radiocomando industriale con funzioni di sicurezza **deve** rispettare i requisiti essenziali della direttiva EMC. La progettazione di un dispositivo di questo tipo deve essere in grado di soddisfare pienamente alle numerose problematiche legate ai fenomeni di **auto compatibilità** e **compatibilità EM** e questa risulta un'attività complessa che richiede

la conoscenza e l'applicazione di un insieme molto ampio di accorgimenti, criteri e regole di progettazione.

Queste conoscenze stanno, a loro volta, progressivamente migliorando le procedure utilizzate dai progettisti nella pianificazione delle fasi di sviluppo di un prodotto e nell'ottimizzazione delle singole scelte progettuali. In particolare, si sta passando da una progettazione tradizionale, poco attenta agli aspetti EMC, se non alla fine del progetto e a valle di primi insuccessi nelle prove di certificazione, ad una **progettazione efficace**, attenta alla compatibilità elettromagnetica già a partire dalle prime fasi di sviluppo.

In fig. 3.18 vengono riportate le principali attività di un progetto con criteri EMC. Per ogni attività, sono indicate alcune tra le principali e più efficaci operazioni da effettuarsi per giungere con maggiore possibilità di successi a superare le prove di conformità finali.

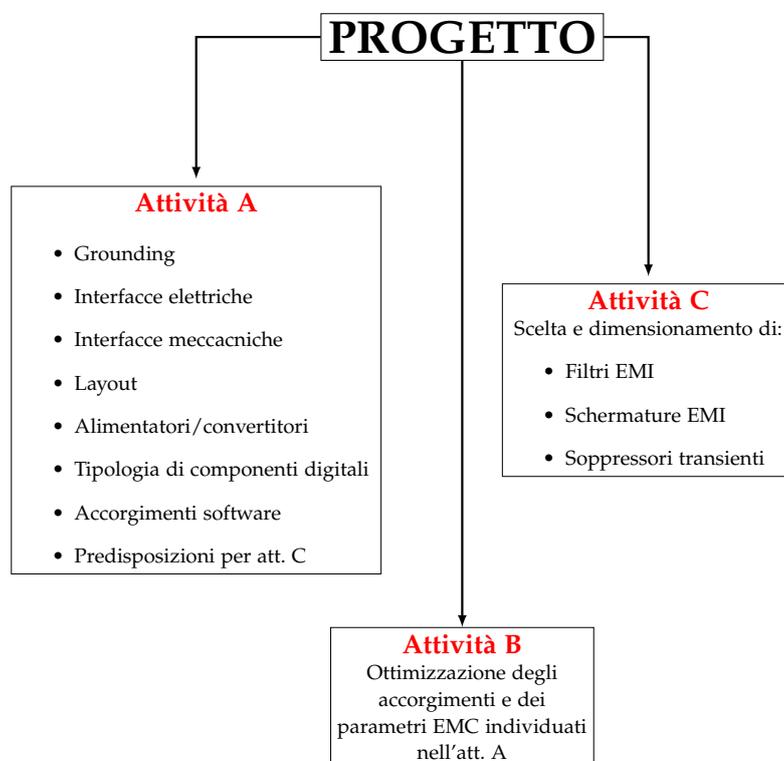


Figura 3.18: Le tre attività nella progettazione di un dispositivo, apparecchio, sistema, conforme ai requisiti EMC.

L'**attività A** consiste in **scelta e dimensionamento** di tutti gli accorgimenti conosciuti, riguardanti:

- **masse** (*grounding*) per cui valgono le seguenti due regole fondamentali:
  - tenere la **massa di alimentazione**, ovvero *il conduttore di ritorno dell'alimentazione*, separata dalla **massa di struttura** che identifica la *struttura metallica dell'apparato*, compren-

dente il telaio e l'eventuale involucro metallico. Tale soluzione consente di ridurre le correnti di modo comune, uguali in modulo e di verso concorde;

- tenere sempre collegate la **massa di riferimento di segnale**, ovvero *l'insieme di tutte le parti circuitali a bassa impedenza predisposte per il ritorno delle correnti al loro punto di origine*, e la **massa di struttura**. Questo risulta fondamentale in quanto, altrimenti, si avrebbero, soprattutto alle alte frequenze, dei ritorni delle correnti tra uscita ed ingresso che possono causare instabilità.
- **interfacce elettriche e meccaniche** (*bounding*), ovvero le vie attraverso le quali le interferenze EM possono transitare da una parte all'altra del dispositivo, oppure da o verso l'esterno, provocando degradazioni e malfunzionamenti. Di seguito sono indicate le principali tipologie di interfacce elettriche:
  - linee di ingresso per l'alimentazione;
  - linee dati input/output;
  - massa di struttura;
  - collegamento di protezione;
  - massa di riferimento di segnale ;
  - accoppiamenti capacitivi ed induttivi;
  - schermatura ed aperture.
- **layout**, cioè l'insieme di scelte ed accorgimenti utilizzati a livello di scheda, apparecchio o sistema elettronico in termini di posizionamento dei componenti e collegamenti successivi, inclusi quelli di massa e di alimentazione. Vi sono, in particolar modo, delle regole che si rifanno a criteri di progetto generali, validi ovunque, indipendentemente dall'ambito di applicazione:
  - **Regola 1:** *i componenti devono essere raggruppati in base alla loro tipologia ed alle velocità di variazione delle correnti e tensioni presenti, secondo la suddivisione in bassa, media ed alta velocità. In particolare, vengono solitamente individuate zone riservate all'alimentazione, alle linee dati I/O, agli **apparati di comunicazione radio in ricezione/trasmisione**, ai circuiti digitali, ai circuiti analogici, ai dispositivi di interfaccia con il mondo esterno e ai display;*
  - **Regola 2:** *posizionare i collegamenti in modo tale che quelli ritenuti più disturbanti, cioè caratterizzati da correnti e tensioni ad elevato contenuto armonico (tipicamente i clock o i segnali digitali veloci) siano il più possibilmente distanti da quelli ritenuti più delicati dal punto di vista EMC. Se possibile, interporre tra la prima e la seconda categoria di collegamenti delle schermature oppure una o più linee dedicate alla massa;*

- **Regola 3:** evitare che la lunghezza dei collegamenti di segnale interni, esterni o della massa risultino pari a  $\lambda/2$  o  $\lambda/4$ , con  $\lambda$  generica lunghezza d'onda di un qualsiasi segnale in tensione, in corrente o nella forma di campo  $E$  (elettrico misurato in  $V/m$ ) o  $H$  (magnetico misurato in  $A/m$ ) presente.

- **tipologia di alimentatori, dei dispositivi di potenza, dei circuiti digitali utilizzati.** Si tratta di una parte molto delicata per l'EMC in quanto, a fronte di tensione sinusoidale, reagisce iniettando in rete un segnale sporco. La principale funzione è quella di convertire una tensione alternata o continua in ingresso in una tensione continua in uscita di livello opportuno e costante entro precisi vincoli di variazione. Le problematiche maggiori in termini di emissioni si incontrano nella banda da 150 kHz a 30 MHz, comunque al di fuori del range di frequenze a cui solitamente operano i radiocomandi industriali.

L'entità dell'emissione generata dipende innanzi tutto dall'architettura di conversione implementata e, in secondo luogo, dal dimensionamento effettuato dalle singole parti del dispositivo. Tra le principali architetture si ricordano:

- **convertitori passivi;**
- **confertitori ferro risonanti;**
- **convertitori a commutazione con controllo di fase;**
- **convertitori a commutazione.**

Quest'ultima tipologia merita un approfondimento. Conosciuti anche come *Switched Mode Power Supply (SMPS) converters*, sono molto comuni nelle applicazioni di consumo e caratterizzati da un elevato rendimento, rispetto a tutte le altre tecnologie (circa 60-90%), con ingombro e peso minori. In questi dispositivi la tensione in uscita viene regolata per mezzo di un interruttore (mosfet di potenza) e di un segnale di comando in modulazione di ampiezza (Pulse Width Modulation (PWM)). Tra i principali tipi di convertitori a commutazione si trovano *buck*, *boost* e *buck-boost*, nonché la sua versione **isolata** chiamata *flyback* (fig. 3.19).

Il convertitore *flyback* viene largamente utilizzato nelle applicazioni a bassa potenza e presenta diversi vantaggi tra cui, grazie all'adozione del trasformatore, l'**isolamento elettrico** e un **adattamento di tensioni/correnti** grazie alla possibilità di scelta del rapporto spire  $n$  in base al tipo di applicazione.

I principali problemi da risolvere in campo EMC riguardano:

- **corrente nel diodo** che, essendo impulsiva alla frequenza di *switching*  $f_{sw}$ , genera un'emissione condotta che diventa critica nella banda di frequenze [150 kHz - 30 MHz];

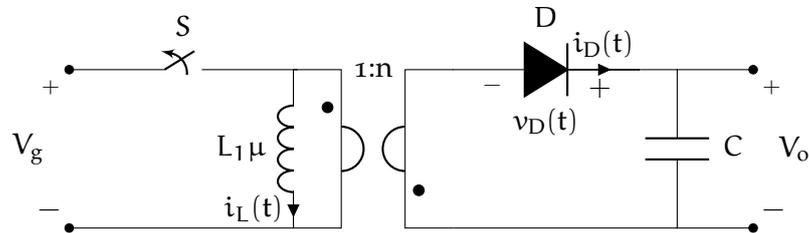


Figura 3.19: Schema semplificato di un alimentatore switching flyback. Si noti che viene utilizzato il modello del mutuo accoppiamento ideale con l'induttanza  $L_1\mu$  per rappresentare il trasformatore.

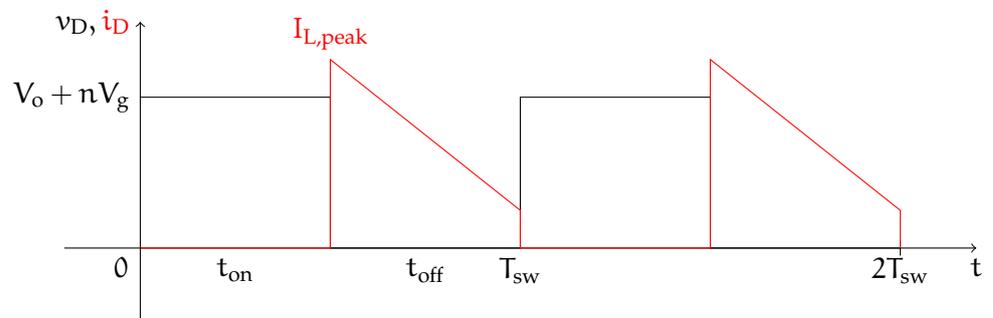


Figura 3.20: Andamento di tensione e corrente nel diodo in un convertitore flyback nell'ipotesi di funzionamento *Continuous Conduction Mode* (CCM). Durante il tempo  $t_{off}$  l'interruttore S rimane aperto, quindi il diodo risulta in conduzione, mentre nel  $t_{on}$  S è chiuso e il diodo è contropolarizzato, quindi interdetto. Da qui l'andamento impulsivo di queste due grandezze.

- **tensione ai capi del diodo**  $V_D$  che risulta variabile ad onda quadra tra 0 e  $V_0 + nV_g$  comporta forti concentrazioni di **campo elettrico** che possono dar luogo ad emissioni EM;
  - **corrente e tensione** nello *switch* per gli stessi motivi che portano alla valutazione dei diodi.
- **accorgimenti software.** Tra tutti i dispositivi che più di altri possono risentire della presenza e degli effetti dei fenomeni EMI vi sono le apparecchiature che basano il proprio funzionamento su una struttura a **microprocessore**, nelle quali è prevista una parte software. Concettualmente, l'interferenza può agire sul software di un sistema alterando qualche bit attraverso un disturbo impulsivo che si manifesta a livello hardware. Risulta quindi necessario organizzare una struttura sia hardware che software in grado di tenere conto ed eventualmente far fronte a queste possibilità. Un sistema dovrebbe, dunque, innanzitutto accorgersi dell'alterazione software per poi provvedere al ripristino delle condizioni precedenti. Un obiettivo che può essere raggiunto, almeno parzialmente, attraverso i seguenti principali accorgimenti:
    - **Interruzioni non utilizzate.** Le interferenze EM possono provocare l'attivazione indesiderata di più linee di interruzione non utilizzate. In questi casi la CPU provvede a salvare lo stato corrente della macchina e a caricare sul registro di sistema l'indirizzo della routine di servizio relativa alla richiesta effettuata. Poiché questo indirizzo non è stato predisposto, nella CPU viene caricato un valore qualsiasi.  
Per evitare problematiche di questo tipo è opportuno: **abilitare solo le interruzioni necessarie**; predisporre **opportune routine di servizio** a cui il programma accede ogni qualvolta una di queste linee venga attivata e tali da consentire il ritorno al programma principale.
    - **Verifica dei dati.** Una seconda strategia è quella di verificare la **validità dei dati trasmessi e ricevuti** mediante opportuni algoritmi per la ricerca degli errori e l'eventuale correzione.
    - **Watchdog.** Si tratta di dispositivi, in parte hardware e in parte software, che consentono al sistema di uscire da eventuali cicli di funzionamento infiniti. Sono dei veri e propri contatori che contano all'indietro e vengono resettati periodicamente prima che raggiungano lo zero. In caso questo non accadesse, verrebbe generato un *interrupt* ad elevata priorità, con l'attivazione di una particolare routine di servizio che avrà il compito di segnalare l'inconveniente e permettere al programma di uscire dal *loop* infinito.

– **Memoria di programma non utilizzata.** Si verifica molto spesso che la memoria programma di un sistema a micro-processore non sia completamente occupata da istruzioni. In questi casi va evitato che per errori, causati per esempio da interferenze EMI, il programma salti in corrispondenza di questi spazi vuoti di memoria.

Una possibile soluzione consiste nel **riempire l'area di memoria non utilizzata da istruzioni NOP (nessuna operazione)**, sino alla casella occupata dall'istruzione **JUMP** che inizializza la fase di ripristino andando a lanciare l'istruzione **ADDR** che porta al definitivo **RESET** del processo andando a ripristinare le condizioni iniziali di funzionamento (vedi fig.3.21).

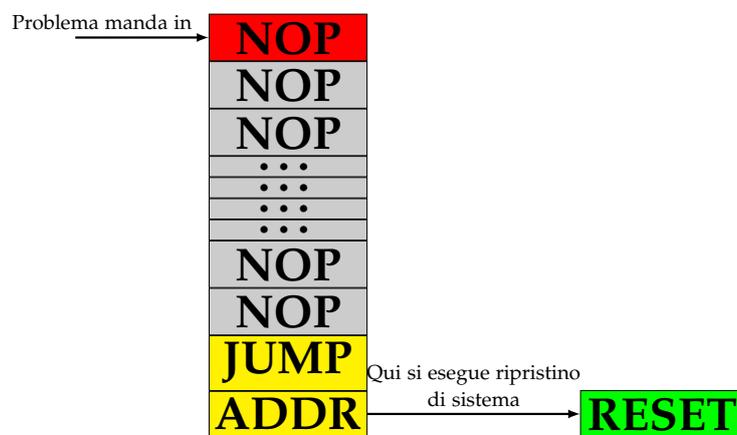


Figura 3.21: Accorgimento da apportare in caso di memoria non completamente occupata da istruzioni. Si inseriscono istruzioni NOP fino ad incontrare la funzione JUMP che inizializza il ripristino.

- **predisposizioni per eventuali soluzioni da applicarsi durante l'attività C.**

L'**attività B** è tipicamente effettuata al termine dell'attività A, allo scopo di verificare l'efficacia delle scelte effettuate in termini EMC. Richiede l'esecuzione di prove **pre-compliance** da effettuarsi su prototipi e tenendo conto di opportuni margini di sicurezza rispetto ai limiti di norma per le diverse prove previste. Prevede, infine, una regolazione ed ottimizzazione di alcuni parametri di funzionamento o dei componenti EMC applicati.

L'**attività C** consiste nell'applicazione (scelta e dimensionamento) di accorgimenti rilevanti, tipicamente costosi, volti a migliorare quanto non è stato possibile fare in precedenza nelle attività A e B. Tra questi si ricordano:

- filtri EMI;

- schermature EMI;
- dispositivi di protezione contro le sovratensioni e le sovracorrenti.

In molti casi, l'attività C può essere evitata operando opportunamente attraverso le fasi A e B. In fig. 3.22 è schematizzata una possibile procedura per la progettazione ottimale di un dispositivo, apparecchio o sistema elettronico ed elettromedicale con criteri EMC.

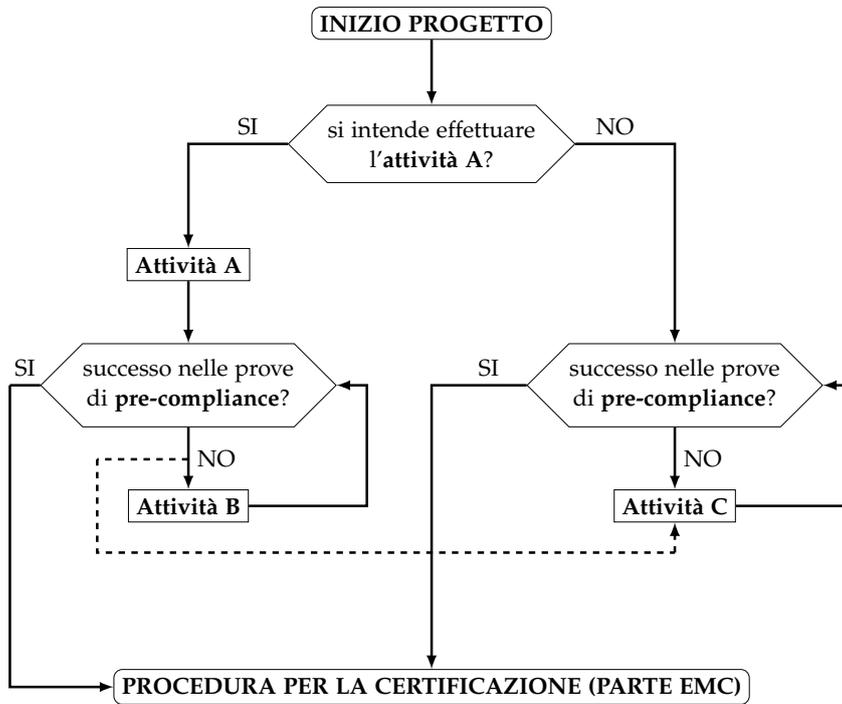


Figura 3.22: La procedura sintetizza quanto precedentemente accennato riguardo al modo migliore di affrontare la progettazione di un prodotto secondo criteri EMC.



## CONCLUSIONI

---

L'obiettivo del suddetto documento è stato quello di creare una guida utile per la progettazione di un radiocomando industriale dal punto di vista della conformità dei requisiti tecnici e normativi. Proprio l'analisi normativa risulta sempre la parte su cui porre maggiore attenzione poichè la sua applicazione è condizione necessaria ai fini della dichiarazione di conformità e conseguente commercializzazione del prodotto.

La ricerca è stata effettuata a step successivi: si è partiti dalle direttive che in qualche modo potessero riguardare questa tipologia di prodotto, per poi valutarne le relative norme armonizzate ed arrivare a considerare solamente quelle di interesse.

Il risultato è una **guida** molto semplice da comprendere ed interpretare, in grado di far risparmiare tempo prezioso al progettista che non dovrà andare alla ricerca di eventuali riferimenti normativi.

Le direttive **EMC** e **LVD** sono state appositamente trattate in maniera molto esigua perchè la parte più interessante e corposa del documento è stata dedicata alla direttiva **RED**. Si è infatti analizzato come un dispositivo che deve essere **RED**, dovrà automaticamente rispettare le direttive Compatibilità Elettromagnetica e Bassa Tensione. Sono stati, inoltre, tralasciati gli schemi elettrici principali di trasmettitore e ricevitore perchè non rientrano negli schemi normativi e, pertanto, si lasciano a discrezione del progettista.

Per quanto concerne possibili ulteriori sviluppi, rimane da segnalare la nuova norma CEI EN 62745 sui requisiti di dispositivi radio in ambito industriale. Si tratta di una norma molto recente, rilasciata nell'anno corrente, ma non ancora armonizzata di alcuna direttiva. Dato il crescente utilizzo di dispositivi radio per operazioni industriali si è rivelato necessario creare una norma apposita contenente tutti i requisiti relativi solamente a questa categoria di prodotti radio. Con elevata probabilità verrà aggiunta all'elenco delle norme armonizzate della Direttiva Macchine.



## APPENDIX



## DISTANZA DI HAMMING

---

Nella teoria dell'informazione, la distanza di Hamming tra due stringhe di ugual lunghezza è il numero di posizioni nelle quali i simboli corrispondenti sono diversi. In altri termini, la distanza di Hamming misura il numero di sostituzioni necessarie per convertire una stringa nell'altra, o, vista in altro modo, il numero minimo di errori che possono aver portato alla trasformazione di una stringa nell'altra.

### A.1 ESEMPI

- La distanza di Hamming tra 1011101 e 1001001 è 2 perchè il terzo ed il quinto bit sono diversi nelle due sequenze;
- La distanza di Hamming tra 2143896 e 2233796 è 3 perchè il secondo, terzo e quinto bit cambiano da una sequenza all'altra.

Altro metodo per trovare la distanza di Hamming tra stringhe a 3 bit è l'utilizzo del **cubo binario** come in figura: Si nota che tra 100 e 011

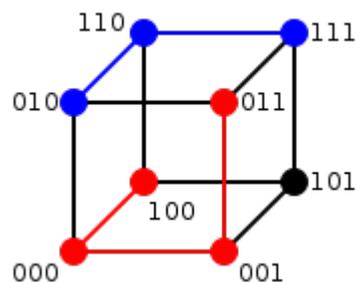


Figura A.1: Cubo binario. Calcolo della distanza di Hamming tra 100-011 e tra 010-111.

la distanza di Hamming è pari a 3 (percorso rosso), mentre tra 010 e 111 essa è pari a 2 (percorso blu).

### A.2 STORIA ED APPLICAZIONI

La distanza di Hamming prende il suo nome da Richard Hamming, che la introdusse nel suo fondamentale lavoro sui codici per il **ricoscimento e la correzione degli errori**. Viene usata nelle telecomunicazioni per contare il numero di bit errati in una parola binaria a lunghezza fissa, allo scopo di stimare l'errore. Per questo motivo viene anche chiamata distanza del segnale.



BIT ERROR RATIO

---

In telecomunicazioni, in un sistema di trasmissione digitale il Bit Error Rate (**BER**), è il rapporto tra i bit non ricevuti correttamente e i bit trasmessi. Il **BER** è un parametro molto importante perché fornisce una misura della qualità dell'intero sistema di comunicazione.

$$\text{BER} = \frac{\text{Quantità bit errati}}{\text{Numero di bit totale ricevuti}} \quad (\text{B.1})$$

Il **BER** evidenzia quanto della originaria trasmissione viene perso o giunge distorto all'apparecchio ricevente a causa, ad esempio, di disturbi e rumore nel canale di trasmissione, di problemi degli impianti, di malformazioni originarie del flusso dati.

Per tempi sufficientemente lunghi il **BER** può sostituire la *probabilità di errore per bit* che è una quantità statistica e dunque fluttuante in maniera aleatoria di cui il **BER** rappresenta il valor medio nel tempo.

L'indice è ovviamente applicabile allo stesso modo per trasmissione di segnali via etere (radio-tv), via cavo (telefonia, telematica) o anche all'interno stesso di sistemi informatici. Solitamente, nelle trasmissioni telefoniche si definisce accettabile un BER massimo di  $10^{-3}$  (1 bit errato ogni 1000 bit trasmessi), mentre nelle trasmissioni più sofisticate come in Internet il limite di accettabilità è di  $10^{-7}$  (1 bit errato ogni 10 milioni di bit trasmessi).

Variazioni significative di **BER** si hanno al passaggio da una trasmissione cablata, pressoché esente da disturbi se non il rumore termico, ad una radiocomunicazione, molto più soggetta a disturbi nel canale trasmissivo.



## PHASE-LOCKED LOOP

---

Molto utilizzato nell'ambito dell'elettronica per le telecomunicazioni, esso costituisce un sistema di controllo automatico che consente di generare un segnale periodico la cui fase è in relazione fissa con quella di un segnale di riferimento.

Questo tipo di circuito viene utilizzato per moltissimi scopi, tra cui:

- **sintetizzatore di frequenza** essendo in grado di sintonizzare un oscillatore controllato in tensione (Voltage Control Oscillator (VCO)), il quale è in grado di produrre oscillazioni ad altissima frequenza, ma dotato di bassa precisione, con un oscillatore al quarzo che ha una bassa frequenza di risonanza, spesso insufficiente nell'ambito delle radiocomunicazioni, ma elevata precisione;
- **generatore di clock**, soprattutto nei sistemi a microprocessore;
- **demodulatore FM**;
- sistema di **clock recovery**, serve, cioè per estrarre il clock di un dato segnale.

Un PLL è solitamente composto da quattro moduli:

- un comparatore di fase (phase detector) che genera un segnale proporzionale alla differenza di fase tra i due segnali in ingresso;
- filtro passa-basso per filtrare componenti ad alta frequenza ed eliminare eventuali disturbi;
- un oscillatore controllato in tensione (VCO);
- un divisore di frequenza.

Il **divisore di frequenza** è un blocco importantissimo per la progettazione di un radiocomando. Infatti, come precedentemente accennato, esso è in grado di ottenere un segnale ad una frequenza multipla di quella di un segnale di riferimento.

In fig. C.1 è possibile osservare lo schema a blocchi di un PLL, in cui vengono specificati tutti i blocchi da cui è composto.

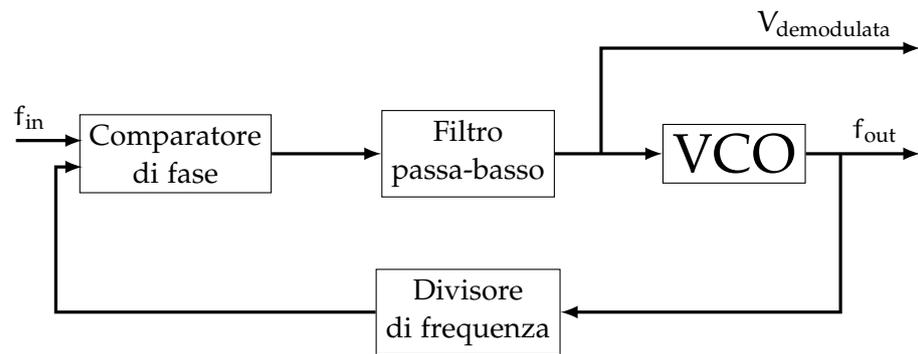


Figura C.1: Schema a blocchi generale di un PLL.

## CALCOLO DI POTENZA IRRADIATA

In fig. D.1 è schematizzato il caso di un generico elemento conduttore funzionante da antenna non intenzionale **in trasmissione**. L'elemento irradiante è pensato come un generico circuito assimilabile ad una qualsiasi tipologia di antenna o ad una combinazione di esse. Da un punto di vista elettrico, l'elemento irradiante può essere

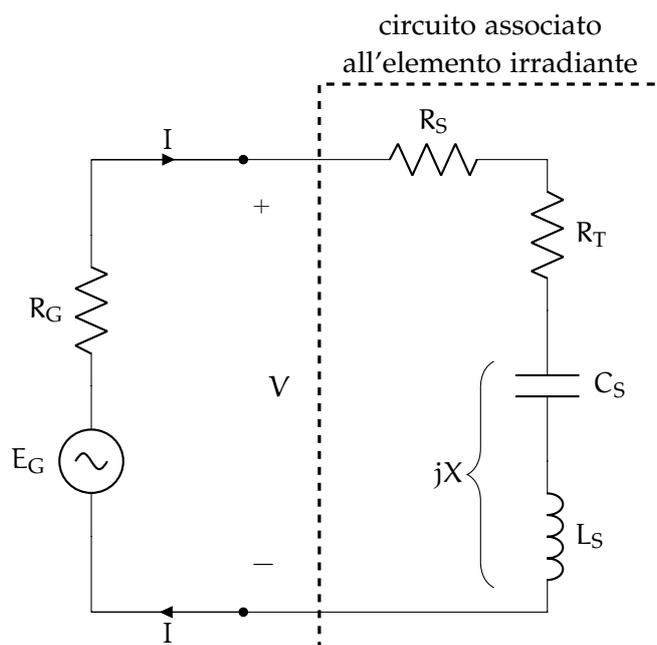


Figura D.1: Circuito elettrico equivalente di un generico elemento irradiante in fase di trasmissione.

schematizzato come un'impedenza, serie di tre elementi:

$$Z_{\text{in}} = R_T + R_S + jX \quad (\text{D.1})$$

dove  $R_T$  è la **resistenza di radiazione**,  $R_S$  è la **resistenza di perdita**,  $jX$  è la componente relativa all'antenna, con  $j$  operatore complesso e  $X$  reattanza complessiva della serie  $L_S$  e  $C_S$  con  $L_S$  induttanza e  $C_S$  capacità dell'elemento irradiante ai suoi terminali di ingresso.

La **resistenza di radiazione** è una resistenza fittizia che dà conto della potenza  $P_T$  irradiata dall'antenna nello spazio circostante:

$$P_T = R_T * I^2 \quad (\text{D.2})$$

La **resistenza di perdita**, invece, tiene conto della potenza  $P_{\text{loss}} = R_S * I^2$  trattenuta dall'antenna nella forma di calore, mentre  $jX$  dell'energia reattiva  $Q = X * I^2$ , nella forma capacitiva se  $X < 0$  o induttiva

se  $X > 0$ . Viene fatto notare che i valori di  $P_T$  dipendono da due fattori:

- la geometria della struttura irradiante;
- la frequenza  $f$  di variazione di  $E_G$  e, quindi, di  $I$ .

Infatti sia  $R_T$  che  $X$  dipendono dalla geometria della struttura irradiante e variano al variare della frequenza  $f$ ;  $I$ , invece, è legata ai valori assunti da  $R_T$  e  $X$  come pure da  $E_G$ , secondo la relazione:

$$I = \frac{E_G}{R_G + Z_{in}} = \frac{E_G}{R_G + R_T + R_S + jX} \quad (D.3)$$

La valutazione di  $R_T$ ,  $X$  e il **guadagno dell'elemento irradiante**  $G_T$  presente nella 2.2 è un'operazione molto complessa e che richiede l'utilizzo di simulatori o di prove sperimentali. In molti casi può essere utili ricorrere ai valori di  $R_T$ ,  $X$  e  $G_T$  noti in letteratura per le cinque tipologie di antenne elementari.

## BIBLIOGRAFIA

---

REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2017/1354 DELLA COMMISSIONE del 20 luglio 2017 che specifica le modalità di presentazione delle informazioni di cui all'articolo 10, paragrafo 10, della direttiva 2014/53/UE del Parlamento europeo e del Consiglio.

ITU - Radio Regulations - Volume 1 - Edition of 2016.

2000/299/CE: Decisione della Commissione, del 6 aprile 2000, che stabilisce la classificazione iniziale delle apparecchiature radio e delle apparecchiature terminali di telecomunicazione e dei relativi identificatori.

### NORME

CEI EN 60204-1:2006-06. Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine. Parte 1: Regole generali.

IEC 60204-1:2014-01. Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements.

CEI EN 60204-32:2008-09. Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine. Parte 32: Prescrizioni per le macchine di sollevamento.

ETSI EN 300 220-1 V3.1.1 (2017-02). Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement.

ETSI EN 300 220-2 V3.1.1 (2016-11). Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU for non specific radio equipment.

CEI EN 61784-3:2016-08. Reti di comunicazione industriali - Profili. Parte 3: Bus di campo per sicurezza funzionale - Regole generali e definizioni del profilo.

CEI CLC/TR 62685:2012-11. Reti di comunicazione industriali - Profili - Guida alla valutazione per dispositivi di sicurezza che utilizzano i profili di comunicazione di sicurezza funzionale (FSCP) della norma IEC 61784-3.

CEI EN 62745:2017. Sicurezza del macchinario - Prescrizioni per i sistemi di comando e controllo senza fili del macchinario.

UNI EN ISO 13849-1:2008. Sicurezza del macchinario. Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza. Parte 1: Principi generali per la progettazione.

CEI EN 62061:2005. Sicurezza del macchinario - Sicurezza funzionale dei sistemi di comando e controllo elettrici, elettronici ed elettronici programmabili correlati alla sicurezza.

### **DIRETTIVE**

DIRETTIVA 1999/5/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 1999 riguardante le apparecchiature radio e le apparecchiature terminali di telecomunicazione e il reciproco riconoscimento della loro conformità.

DIRETTIVA 2014/53/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 aprile 2014 concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato di apparecchiature radio e che abroga la direttiva 1999/5/CE.

DIRETTIVA 2014/30/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 26 febbraio 2014 concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elettromagnetica.

DIRETTIVA 2014/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 26 febbraio 2014 concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato del materiale elettrico destinato a essere adoperato entro taluni limiti di tensione.

### **SITI WEB**

<http://www.elemania.altervista.org/formeonda/oscillatori/osc6.html>

<http://www.tpub.com/neets/book8/31g.htm>

<http://www.circuitstoday.com/class-c-power-amplifier>

<http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/fm-reception/fm-slope-detector-discriminator.php>

[https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking\\_en](https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en)

[https://ec.europa.eu/growth/sectors/electrical-engineering/red-directive\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/electrical-engineering/red-directive_en)

**LIBRI DI TESTO**

Alessandro Sona, INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE: Effetti indesiderati e soluzioni in ambito EMC

Tutto Normel, EQUIPAGGIAMENTO ELETTRICO DELLE MACCHINE

Miomir Filipovic, RADIO RECEIVERS, FROM CRYSTAL SET TO STEREO.

Enzo Viviani, L'ANTENNA RADIO: principi di funzionamento.

