



DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING  
UNIVERSITY OF PADOVA



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE**  
**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA**

**RELAZIONE TIROCINIO**

LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA ELETTRONICA (DM.509/99)

**Titolo della tesi:**

STRUMENTAZIONE ELETTRONICA A BORDO NAVE ED ANALISI DEI DISTURBI ELETTROMAGNETICI

(ELECTRONIC TOOLS ON SHIPBOARD AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE)

**ANNO ACCADEMICO**

2009/2010

**Relatore:**

TENTI PAOLO

**Laureando:**

GIROTTA MARCO

MAT. 561254 - IL

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	pg. 1
---------------------------	-------

(PARTE RELATIVA TIROCINIO)

## **CAP. 1 STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI BORDO SU FACTORY TRAWLER 115MT**

### **1.1 STRUMENTAZIONE ELETTRONICA SECONDO STANDARD DI PROGETTO**

1.1.1 STANDARD DI PROGETTO.....	pg. 3
1.1.2 SEA AREAS.....	pg. 3
1.1.3 ULTERIORI SPECIFICHE PRESENTI NEL PIANO DI PROGETTO.....	pg. 4

### **1.2 SISTEMI RADAR**

1.2.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL RADAR.....	pg. 5
1.2.2 RADAR UTILIZZATI.....	pg. 6

### **1.3 SISTEMI DI NAVIGAZIONE**

1.3.1 SISTEMA DGPS.....	pg. 7
1.3.2 SISTEMA DI NAVIGAZIONE AUTOMATICA.....	pg. 8
1.3.3 SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE AUTOMATICA (AIS).....	pg. 8

### **1.4 STRUMENTAZIONE RADIO**

1.4.1 AUTOMATIC DIRECTION FINDER (VHF) .....	pg. 9
1.4.2 STAZIONE RADIO MF/HF SSB.....	pg. 10
1.4.3 RADIOTELEFONI VHF.....	pg. 11

### **1.5 DISPOSITIVI DI EMERGENZA**

1.5.1 TRANSPONDER RADAR (SART).....	pg. 11
1.5.2 DISPOSITIVO DI LOCALIZZAZIONE DI EMERGENZA: EPIRB.....	pg. 12

### **1.6 GIROBUSSOLA ED APPARECCHIATURE METEO**

1.6.1 GIROBUSSOLA.....	pg. 13
1.6.2 APPARATI METEO.....	pg. 14
1.6.2.1 RICEVITORE FAX METEO.....	pg. 14
1.6.2.2 NAVTEX.....	pg. 14
1.6.2.3 ANEMOMETRO.....	pg. 15

### **1.7 APPARATI INMARSAT**

1.7.1 INMARSAT DI TIPO B CON TELEFAX.....	pg. 15
1.7.2 INMARSAT DI TIPO C.....	pg. 16

## **CAP. 2 INSTALLAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE DI BORDO**

### **2.1 REQUISITI GENERALI ED ALLESTIMENTO DELLA PLANCIA**

2.1.1 DISPOSIZIONE STRUMENTI IN PLANCIA.....	pg. 18
2.1.2 DESIGN DELLA STAZIONE DI LAVORO.....	pg. 21

### **2.2 ALLESTIMENTO PONTE ANTENNE**

2.2.1 ANTENNE RADAR E DIRECTION FINDER.....	pg. 22
2.2.2 ANTENNE MF/HF.....	pg. 24
2.2.3 ANTENNE INMARSAT.....	pg. 24
2.2.3.1 RICEVITORE INMARSAT FLEET 77.....	pg. 24
2.2.3.2 RICEVITORE INMARSAT MINI-C.....	pg. 26
2.2.4 RICEVITORI DGPS.....	pg. 27
2.2.5 ANTENNE VHF.....	pg. 28
2.2.5.1 ANTENNE PER COMUNICAZIONI RADIOTELEFONICHE.....	pg. 28
2.2.5.2 ANTENNA PER AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM.....	pg. 29
2.2.6 SENSORE ANEMOMETRO .....	pg. 29
2.2.7 ALLESTIMENTO PONTE ANTENNE: FILE CAD .....	pg. 30

### **2.3 CABLAGGI**

2.3.1 CAVI PER INMARSAT MINI C.....	pg. 33
2.3.1.1 CAVO DI ALIMENTAZIONE PER CENTRALINA 3616.....	pg. 33
2.3.2 CAVI PER RADAR.....	pg. 34
2.3.2.1 CAVI DI ALIMENTAZIONE.....	pg. 34
2.3.2.2 CAVI DI CONTROLLO.....	pg. 34
2.3.2.3 CAVI COASSIALI DI SEGNALE.....	pg. 34
2.3.3 SCHERMATURA ELETTROMAGNETICA.....	pg. 34

### **2.4 DISTANZE DI SICUREZZA NELL'INSTALLAZIONE DELLE ANTENNE**

2.4.1 INMARSAT F77 .....	pg. 35
2.4.2 RADAR.....	pg. 35
2.4.3 STAZIONE RADIO.....	pg. 36

## **CAP. 3 STRUMENTAZIONE PER LA PESCA**

### **3.1 L'ECOSCANDAGLIO**

3.1.1 INTRODUZIONE .....	pg. 37
3.1.2 FUNZIONAMENTO ECOSCANDAGLIO ED ELEMENTI FONDAMENTALI.....	pg. 37
3.1.2.1 GLI ELEMENTI PRIMARI DELL'ECOSCANDAGLIO ED IL SUO FUNZIONAMENTO.....	pg. 37
3.1.2.2 PROPAGAZIONE DEL SUONO NELL'ACQUA E POTENZA DI UN ECOSCANDAGLIO...	pg. 37

3.1.2.3 LA FREQUENZA DI LAVORO.....	pg. 38
3.1.2.4 IL POSIZIONAMENTO DEL TRASDUTTORE SULLO SCAFO.....	pg. 38
3.1.2.5 LETTURA DEL MONITOR.....	pg. 38

### **3.2 ECOSCANDAGLI PER FACTORY TRAWLER**

3.2.1 INTRODUZIONE .....	pg. 39
3.2.2 ECOSCANDAGLIO FURUNO 250.....	pg. 39
3.2.3 INSTALLAZIONE DELLE UNITÀ.....	pg. 40
3.2.4 CABLAGGI.....	pg. 42

### **3.3 TRASDUTTORE DELL'UNITÀ DI FONDO**

3.3.1 INTRODUZIONE.....	pg. 43
3.3.2 FUNZIONAMENTO DEL TRASDUTTORE .....	pg. 45
3.3.3 FREQUENZE OPERATIVE.....	pg. 45
3.3.4 ELEMENTO ATTIVO DEL TRASDUTTORE .....	pg. 46
3.3.5 PROBLEMA DELLA CAVITAZIONE.....	pg. 46
3.3.6 ANGOLO DI CONO.....	pg. 46
3.3.7 SPECIFICHE FURUNO 250.....	pg. 47

(PARTE DI APPROFONDIMENTO)

## **CAP.4 ANALISI DI PROBLEMI DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI, SOLUZIONI PER LA PREVENZIONE E CASI A BORDO NAVE**

### **4.1 COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA**

4.1.1 INTRODUZIONE COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA.....	pg. 48
4.1.2 EMC: concetti generali e definizioni .....	pg. 49

### **4.2 DISTURBI ELETTROMAGNETICI**

4.2.1 INTRODUZIONE AI DISTURBI CONDOTTI ED IRRADIATI.....	pg. 51
4.2.2 ESEMPIO GENERAZIONE DEL DISTURBO.....	pg. 53
4.2.3 DISTURBI IRRADIATI.....	pg. 53
4.2.3.1 CORRENTI DI MODO DIFFERENZIALE E DI MODO COMUNE.....	pg. 54
4.2.3.2 SUSCETTIVITÀ PER FILI E PISTE DI CIRCUITI STAMPATI.....	pg. 55
4.2.4 DISTURBI CONDOTTI.....	pg. 56
4.2.4.1 CORRENTI MODO COMUNE E DIFFERENZIALE.....	pg. 56
4.2.4.2 SUSCETTIVITÀ CONDOTTA.....	pg. 58
4.2.5 DIAFONIA.....	pg. 59

### **4.3 TECNICHE DI SCHERMATURA E RIDUZIONE DEI FENOMENI EMC**

4.3.1 CONDUTTORI SCHERMATI – CONDUTTORI INTRECCIATI.....	pg. 60
4.3.2 SCHERMATURE: EFFICIENZA ED EFFETTO DELLE APERTURE.....	pg. 62
4.3.3 PROGETTO SISTEMI ELETTROMAGNETICAMENTE COMPATIBILI.....	pg. 63

#### **4.4 AMBIENTI E STRUMENTI DI MISURA DEI FENOMENI ELETTROMAGNETICI**

4.4.1 AMBIENTI DI MISURA.....	pg. 64
4.4.2 MISURE EMC.....	pg. 66

#### **4.5 NORMATIVE PER EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE**

4.5.1 INTRODUZIONE ALLE NORME EMC.....	pg. 67
4.5.2 PRINCIPALI DIRETTIVE EUROPEE ED INTERNAZIONALI.....	pg. 67
4.5.2.1 DIRETTIVA EUROPEA EMC.....	pg. 67
4.5.2.2 IMMUNITÀ: NORMATIVA CEI EN 61000-4.....	pg. 68
4.5.2.3 NORMATIVA CISPR22.....	pg. 69
4.5.2.4 SICUREZZA FUNZIONALE IEC 61000-1-2 E IEC 61508.....	pg. 70

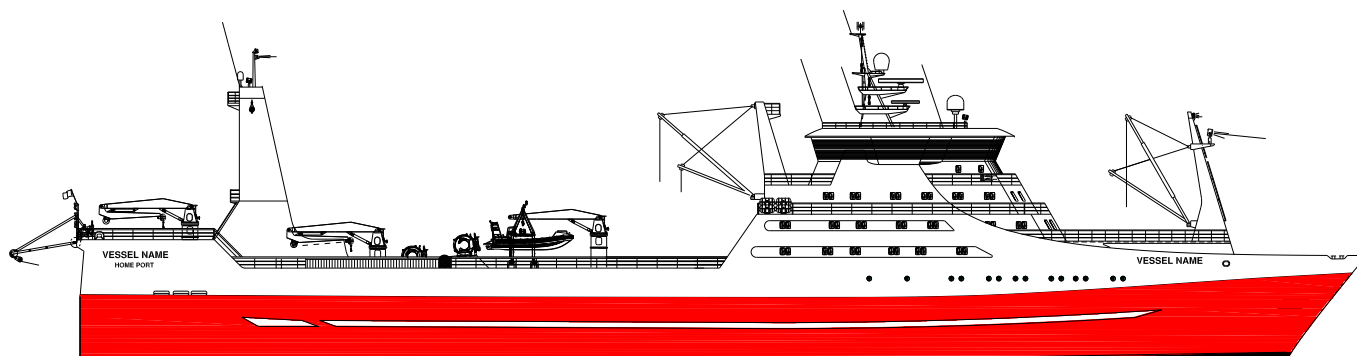
#### **4.6 CASI DI MALFUNZIONAMENTI A BORDO NAVE DOVUTI AD INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE**

4.6.1 INTRODUZIONE.....	pg. 71
4.6.2 CASI DI INTERFERENZE CON SISTEMI DI NAVIGAZIONE AUTOMATICA.....	pg. 71
4.6.3 CASI DI INTERFERENZE CON SISTEMI DGPS.....	pg. 72
4.6.4 SOLUZIONI PER LA PREVENZIONE DI FENOMENI EMI.....	pg. 72

<b><u>CONCLUSIONI</u></b> .....	pg. 74
---------------------------------	--------

<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b> .....	pg. 75
----------------------------------	--------

## INTRODUZIONE



*FACTORY TRAWLER 115M*

Spesso durante la progettazione e l'allestimento di una nave si trascurano alcuni fenomeni considerati secondari ma che se non analizzati in dettaglio possono pregiudicare il corretto funzionamento dell'intero sistema.

Un esempio è dato dalle interferenze e problemi di compatibilità elettromagnetica che interessano gli apparati elettrici - elettronici a bordo, gli apparati motori, nonché l'intero sistema nave.

Fino a non molti anni fa questi problemi venivano presi in considerazione in fase di collaudo della nave solamente nel caso in cui si presentassero portando ad errati funzionamenti a bordo.

Le tecniche di riduzione di questi fenomeni oltre che a risultare molto costose non erano così efficaci poiché risultavano dei "palliativi" applicati ai sistemi presenti colpevoli di generare o essere suscettibili a questa tipologia di interferenza.

Al giorno d'oggi per la prevenzione di problemi EMC esistono molti strumenti validi soprattutto se applicati direttamente già dalle prime fasi di progetto.

In collegamento con l'attività svolta durante il tirocinio, si sono analizzate le problematiche di compatibilità elettromagnetica della strumentazione elettronica di bordo e dei sistemi ad essa collegata in un peschereccio (nave fattoria adibita alla pesca di pesce azzurro a strascico e allo stoccaggio del pescato di 115 metri operante nelle acque artiche) in fase di progetto presso l'azienda Medsea Engineering con sede a Marghera (VE).

Nei primi due capitoli si espone l'attività svolta durante il tirocinio: si sono studiate le tipologie di apparecchiature che equipaggiano la nave interessata, le loro funzioni e soprattutto come devono essere installate per poter rispettare le normative vigenti, sottolineando i problemi di compatibilità elettromagnetica a cui sono soggette e a come la loro installazione vincoli queste interferenze.

In particolar modo si è approfondita la disposizione delle antenne nel ponte della nave e allo studio dei collegamenti tra le varie unità dei diversi sistemi.

Nel terzo capitolo è stata presa in esame la strumentazione elettronica per la ricerca del pesce, descrivendone i principi base del funzionamento e le unità principali, tenendo sempre in considerazione un'installazione che garantisca il corretto funzionamento della stessa.

Nel capitolo 4 sono stati introdotte le principali cause che contribuiscono alla generazione dei disturbi elettromagnetici nei sistemi elettronici, analizzando le principali tecniche per la riduzione (tecniche di schermatura e di progettazione) e le normative oggi vigenti.

Non è scopo di questa tesi analizzare gli aspetti teorici specifici e modelli matematici che governano questi fenomeni ma si vuole dare una descrizione generale di come questi nascono ed agiscono nei vari dispositivi, fornendo possibili soluzioni per una loro riduzione mediante il rispetto di alcune precauzioni in fase di progetto.

# **CAP.1 STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI BORDO SU FACTORY TRAWLER 115MT**

## **1.1 STRUMENTAZIONE ELETTRONICA SECONDO STANDARD DI PROGETTO**

### **1.1.1 STANDARD DI PROGETTO**

Nel progetto assegnato vengono descritte tutte le specifiche che devono essere rispettate durante la progettazione e costruzione di una nave adibita alla pesca a strascico e allo stoccaggio del pescato operante nelle acque artiche (Factory Trawler 115m).

Viene presa in esame la sezione del progetto riguardante la strumentazione di navigazione, di comunicazione e di ricerca pesce.

Nel piano generale di progetto sono definite, oltre alle tipologie di strumenti da utilizzare, anche le normative da rispettare: Per la parte di strumentazione (e in genere per tutta l'imbarcazione) viene posto come vincolo il rispetto delle normative DNV e SOLAS.

**DNV** sta per Det Norske Veritas AS, ed è la principale società di classificazione marittima che esegue la certificazione e gestione dei rischi in tutte le fasi di vita della nave, offrendo inoltre servizi di consulenza.



**SOLAS** sta per International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) ed è il più importante trattato internazionale di tutela della sicurezza delle navi mercantili; la prima versione risale al 1914 scritta a seguito del naufragio del Titanic. Veniva descritto il numero di imbarcazioni di salvataggio, attrezzature di emergenza e procedure di sicurezza che dovevano essere rispettate a bordo nave. Dopo numerosi aggiornamenti nel corso degli anni, nell'ultimo del 1988 le modifiche vennero eseguite in riferimento ad un altro trattato: il GMDSS (Global Maritime Distress Safety System) una serie di emendamenti Internazionali sulle normative radio e apparecchiature di comunicazione e protocolli utilizzati a bordo di aerei e navi.

### **1.1.2 SEA AREAS**

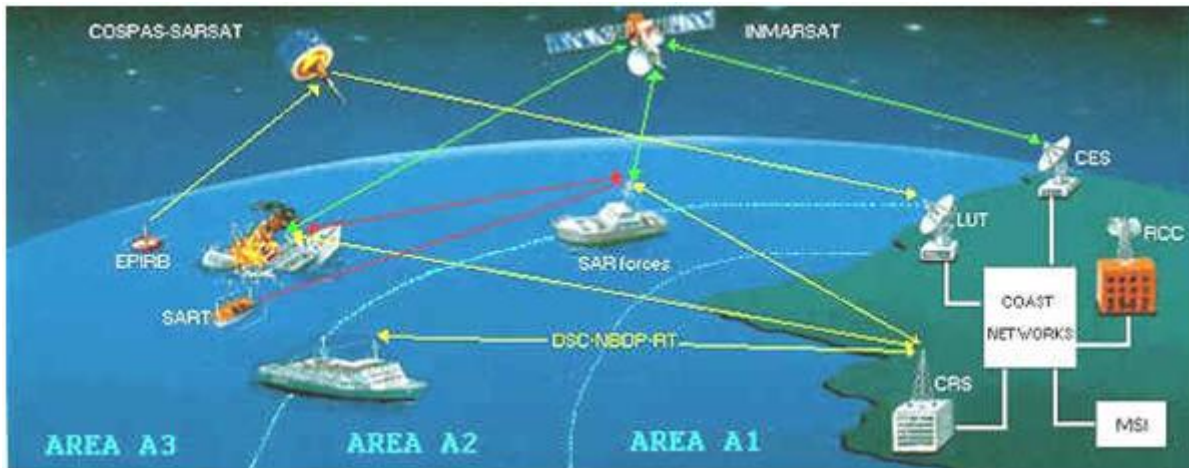
La tipologia e la quantità di strumenti dipende, oltre che dalla categoria di nave, anche dalla specifica zona marittima di navigazione. Il trattato così suddivide in "sea areas" ( A1, A2, A3, A4) le zone di navigazione.

**A1** è un'area di copertura radio fino a 20 – 30 miglia nautiche di distanza dalla stazione costiera, fornisce una copertura VHF con una disponibilità di ascolto continua DSC (comunicazione VHF usata che per rintracciare la nave in condizioni di emergenza o per altre comunicazioni ordinarie tra imbarcazioni e verso terra);

**A2** offre una copertura da 180 miglia nautiche (nelle ore diurne) per un massimo di 400 (in quelle notturne), fornisce una copertura MF-HF con disponibilità di ascolto continua ; (Esclude l'area A1)



- A3** area con raggio di copertura pari a quella dei satelliti INMARSAT (fino Lat 70°N - Lat 70°S) (Esclude aree A1, A2);
- A4** sono essenzialmente le zone polari, zone a nord e sud dei 70 gradi di latitudine (Esclude aree A1, A2, A3).



(fig. 1.1.2.1) SCHEMA DIVISIONE IN SEA AREA'S

Il peschereccio in carico deve essere attrezzato per la navigazione nella "sea area " A3. Secondo le normative SOLAS e DNV esso deve essere equipaggiato di:

Impianto radar: un radar operante in banda X ed uno in banda S;

Apparecchiature di direzione e navigazione: n.2 navigatori GPS, n. 2 display per la visualizzazione delle coordinate, e n. 1 pilota automatico (con relative antenne per la ricezione).

Apparecchiature meteo e girobussola: n.1 girobussola con n. 3 ripetitori, anemometri (per la misurazione del vento), sistema di rilevazione fax meteo,

Apparecchiature radio: n.1 strumento per la ricerca di direzione operante in VHF, solcometro (per per misurazione della velocità), stazione Inmarsat di tipo B (con telefax) per la telefonia, e 2 stazioni Inmarsat di tipo C, stazione SSB (comunicazione con modulazione single side band) con ricevitore, n. 2 radio VHF trasportabili e n. 2 radio HF per i macchinisti.

Strumentazione di emergenza: n. 3 trasmettitori di direzione di emergenza in VHF, n. 2 transponder radar, trasmettitori di emergenza nelle zattere di salvataggio, n. 3 portatili VHF.

### 1.1.3 ULTERIORI SPECIFICHE PRESENTI NEL PIANO DI PROGETTO

Da specifica di progetto vengono inoltre richiesti degli strumenti per la ricerca del pesce:

n.1 ecoscandaglio (con stampante) usato per navigazione, n.1 ecoscandaglio per la ricerca del pesce con relativo impianto di ricerca (trasduttori posti nel fondo nave).

Da aggiungere display per la visualizzazione cartografica (ECDIS), strumenti per la navigazione notturna e per l'ordinaria navigazione, tutti i sistemi di alimentazione, di ricarica dei dispositivi portatili e tutte le antenne e ripetitori necessari per il corretto funzionamento delle apparecchiature.

I materiali per l'installazione e le apparecchiature scelte dovranno essere di marche ben note; questo perché i ricambi potranno essere facilmente reperibili in tutto il mondo.

Nella scelta degli apparati si è fatto riferimento a prodotti di aziende leader nel settore come Furuno e Sperry-Marine per dispositivi di tipo radar e di navigazione satellitare marina; Furuno e Taiyo per gli apparati radio di direzione; Sperry-Marine e Anschutz-Robertson per girobussola, pilota automatico; Furuno e JRC per apparecchi meteo di bordo; Simrad, Sperry-Marine, Furuno e JRC per ecoscandagli e strumenti di ricerca pesce; Sailor e Thrane & Thrane per apparecchi radio VHF, ricevitori radio e apparecchi per la comunicazione radio di emergenza.

## **1.2 SISTEMI RADAR**

### **1.2.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL RADAR**

Il radar è un dispositivo per il rilevamento di oggetti che usa onde elettromagnetiche per determinare altezza, distanza, direzione, velocità di oggetti fissi o in movimento. Il termine deriva da: Radio Detection And Ranging.

Il sistema è in genere costituito da un trasmettitore di onde radio, queste colpiscono un oggetto e vengono riflesse in tutte le direzioni, in parte tornano anche verso la direzione di provenienza dove è posizionato un ricevitore che le rileverà ed elaborerà.

Tipicamente il trasmettitore è posizionato nella stessa posizione del ricevitore.

Il componente fondamentale di ogni radar è un dispositivo che permette di misurare intervalli di tempo anche molto piccoli, così ad intervalli regolari viene trasmesso un impulso a radiofrequenza tramite un'antenna direzionale. Dopo l'emissione l'antenna viene collegata ad un ricevitore molto sensibile che rimane in attesa e nel caso in cui l'impulso trasmesso venga riflesso il ricevitore lo elaborerà.

La distanza dell'oggetto risulta legata al tempo che intercorre tra trasmissione dell'impulso ed arrivo dell'onda riflessa, vale così la relazione (1.2.1.1):

$$R = \frac{cT}{2} \quad (1.2.1.1)$$

R= distanza del bersaglio

c=velocità della luce

T=tempo impiegato dall'impulso per raggiungere il bersaglio e tornare all'antenna.

Il tempo di commutazione dell'antenna deve essere il più piccolo possibile e la durata dell'impulso trasmesso determina la distanza minima a cui il radar può rilevare oggetti. Il ricevitore non può essere attivo fintanto che il trasmettitore invia segnali.

Esistono in genere due categorie di radar: Monostatico → con un'unica antenna trasmittente/ricevente oppure Bistatico → con due antenne, una dedicata alla trasmissione ed una alla ricezione.

A sua volta vi è una distinzione tra radar che lavorano mediante impulsi e radar che lavorano mediante un'onda continua.

Importante risulta l'equazione (1.2.1.2) che descrive la potenza di ritorno all'antenna in funzione a quella trasmessa e ad altri parametri che verranno ora descritti:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma}{(4\pi)^2 R_t^2 R_r^2} \quad (1.2.1.2)$$

$R_t$  = distanza dal trasmettitore all'oggetto,  
 $R_r$  = distanza dall'oggetto al ricevitore.  
 $P_r$  = potenza che ritorna all'antenna ricevente  
 $P_t$  = potenza del trasmettitore,  
 $G_t$  = guadagno dell'antenna del trasmettitore,  
 $A_r$  = superficie dell'antenna del ricevitore,  
 $\sigma$  = superficie equivalente dell'oggetto.

$\sigma$  è un processo aleatorio, legato alla continua variazione di assetto da parte del bersaglio; si ricava che  $P_r$  varia nel tempo in modo del tutto aleatorio.

In genere le antenne di trasmissione e ricezione coincidono fisicamente (caso radar monostatico) ottenendo così delle semplificazioni nella formula (1.2.1.2):

$$R_t = R_r = R \text{ da cui } R_t^2 R_r^2 = R^4 \text{ (distanza apparato radar da oggetto)} \rightarrow P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (1.2.1.3)$$

La formula (1.2.1.3) dimostra che la potenza dell'onda riflessa diminuisce con la quarta potenza della distanza; l'entità della potenza del segnale ricevuto risulta veramente esigua, a fronte di una potenza trasmessa tipicamente elevata fino all'ordine dei Megawatt nel picco dell'impulso in trasmissione.

## 1.2.2 RADAR UTILIZZATI

Esistono diverse frequenze operative per i radar: quelle più usate in ambito marittimo sono: S-BAND (3GHZ e lunghezza d'onda di circa 10cm) e X-BAND (9Ghz e lunghezza d'onda di circa 3cm).

I radar in banda S sono usati per il controllo del traffico a medio e corto raggio e la situazione del tempo a lungo raggio (S= onde corte), mentre quello a banda X sono usati per puntamento di missili, orientamento, situazione del tempo a corto raggio.

In base alle specifiche di progetto sono stati scelti i seguenti dispositivi radar da installare a bordo nave (fig.1.2.2.1):

- SPERRY VISIONMASTER ARPA 343 S-BAND RADAR (Potenza picco ricetrasmittitore 30KW, dimensione antenna 9 o 12 piedi; display 23")
- SPERRY VISIONMASTER ARPA 341 X-BAND RADAR (Potenza picco ricetrasmittitore 10KW dimensione antenna 4, 6 o 8 piedi; display 23" )



(fig. 1.2.2.1) SPERRY VISIONMASTER

## 1.3 SISTEMI DI NAVIGAZIONE

### 1.3.1 SISTEMA DGPS

In questo paragrafo viene brevemente illustrato il sistema DGPS essendo questo utilizzato per la navigazione a bordo nave.

DGPS è l'acronimo di Differential Global Positioning System ed è un'evoluzione del GPS.

Il GPS è un sistema di localizzazione basato su 24 satelliti divisi in gruppi di quattro su ognuno dei sei piani orbitali; il ricevitore GPS una volta collegatosi ai satelliti ricava la posizione di un determinato punto mediante l'ausilio di un algoritmo e sfruttando i tempi di ricezione di 4 satelliti (tutti i satelliti sono equipaggiati di un precisissimo orologio atomico).

Il calcolo può dare un margine di errore anche molto elevato (maggiore di 30 m), dovuto ad errori introdotti dall'algoritmo e dal fatto che il segnale quando attraversa l'atmosfera può diminuire di intensità.

L'utilizzo della tecnologia DGPS invece riduce notevolmente questo problema poiché il ricevitore DGPS riduce gli errori introdotti dall'attraversamento dell'atmosfera del segnale proveniente dai satelliti utilizzando un ricevitore terrestre (stazione di riferimento) che si occupa di correggere il calcolo delle coordinate e di inviarlo al ricevitore GPS ottenendo in questo caso una maggiore accuratezza.

Il segnale di correzione è tipicamente trasmesso su UHF ed inoltre la precisione dei DGPS diminuisce comunque con il crescere della distanza dalla stazione di riferimento.

Nella scelta dei dispositivi di bordo si è optato per n. 2 DGPS Sperry MX-420/2, con i relativi display lcd, console di montaggio (fig. 1.3.1.1) e ricevitori.



*(fig. 1.3.1.1) Console + Display SPERRY MX-420/2*

### 1.3.2 SISTEMA DI NAVIGAZIONE AUTOMATICA

Il sistema di navigazione automatica a bordo di una nave viene collegato alla girobussola, la quale fornisce le indicazioni della posizione, mentre il collegamento con il sistema di sterzo permette alla nave di virare in modo automatico.

Alcuni piloti automatici, soprattutto quelli più moderni, permettono il collegamento diretto ai sistemi GPS (che permette di programmare una rotta), sonar e radar che rendono possibile le previsioni di collisione. Sono inoltre dotati di unità di elaborazione per il controllo e correzione della sensibilità alterata da vento e onde.

L'apparato scelto è **SPERRY NAVIPILOT 4000** (vedi fig. 1.3.2.1) (nei paragrafi seguenti sono indicati anche gl'altri apparecchi collegati al pilota automatico → vedi girobussola).



*(fig. 1.3.2.1) Console + Display SPERRY NAVIPILOT 4000 e UNITÀ DI CONTROLLO DI MANOVRA*

### 1.3.3 SISTEMA DI IDENTIFICAZIONE AUTOMATICA (AIS)

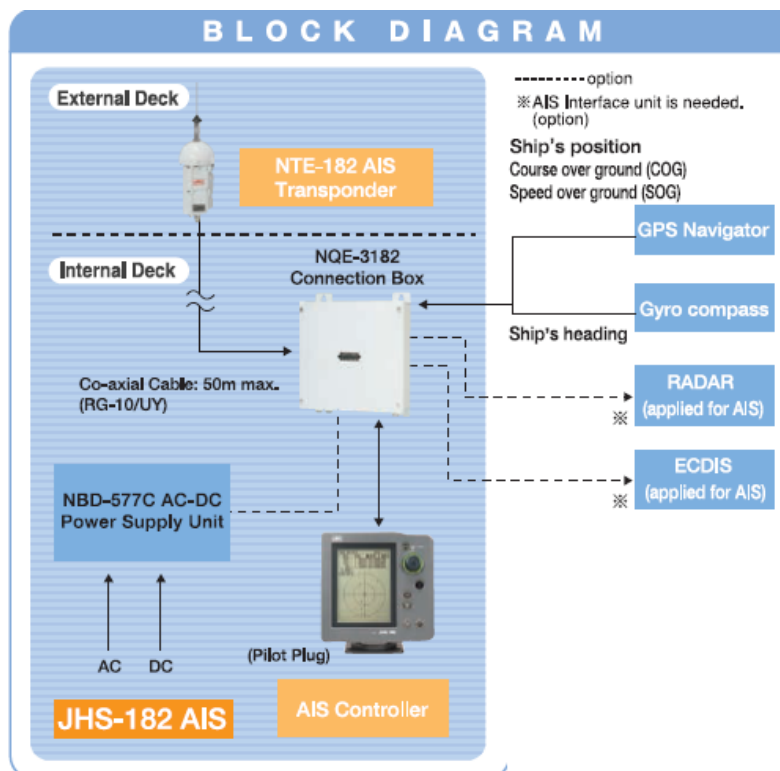


*(fig. 1.3.3.1)*

È un sistema di tracciamento a corto raggio utilizzato a bordo per l'identificazione e la localizzazione di altre navi nella vicinanze (vedi fig. 1.3.3.1).

Fornisce a monitor informazioni come: identificazione univoca, posizione, rotta e velocità. Ha come scopo principale aiutare le autorità marittime nel controllo del traffico navale.

Questo sistema integra una ricetrasmittente VHF e un sistema di posizionamento in genere GPS. Tutto l'apparato può essere collegato anche ad altri sensori di navigazione come una girobussola come mostrato nella figura (1.3.3.2).



(fig. 1.3.3.2) ESEMPIO DI COLLEGAMENTO AIS

Viene utilizzato principalmente per evitare collisioni, controllo del traffico, aiuto nella navigazione e in casi di salvataggio.

Il dispositivo da noi usato è il JRC jhs-182

## 1.4 STRUMENTAZIONE RADIO

La nave deve essere equipaggiata di tutta la strumentazione radio specificata nelle normative.

### 1.4.1 AUTOMATIC DIRECTION FINDER (VHF)

L'Automatic Direction Finder (ADF) è uno strumento montato sugli aeromobili o navi ed è dotato di antenna e componenti elettronici per la ricezione e demodulazione di segnali emessi da stazioni a terra. Fornisce la direzione di provenienza del segnale, nel caso specifico VHF, (e quindi indica la posizione angolare della stazione emittente) per mezzo del principio di induzione elettromagnetica.

Si ricorda che il principio di induzione elettromagnetica (legge di Faraday) impone che in un circuito si generi una forza elettromotrice, quando il flusso del campo magnetico attraversa la superficie, e tale forza indotta risulterà pari all'opposto della variazione temporale del flusso.



(fig.1.4.1.1) DIRECTION FINDER TAIYO TDL1550A (strumento scelto)

## 1.4.2 STAZIONE RADIO MF/HF SSB (SINGLE SIDE BAND)

A bordo nave è necessaria una stazione radio SSB; usata per ottenere bollettini meteo via fax, informazioni meteo vocali, per inviare e ricevere e-mail, per ascoltare notizie quando si è fuori dalla normale portata radio FM e per comunicare con altre imbarcazioni anche a centinaia di miglia di distanza.

Una modulazione SSB non differisce molto rispetto una modulazione AM, infatti, come si nota nella figura, con la modulazione SSB viene trasmesso solo metà del segnale in banda traslata, mediante apposito filtraggio, viene tenuta o la banda laterale superiore, si parla di USB (upper sideband), o la banda laterale inferiore, in questo caso LSB (lower sideband). Con questa tecnica di modulazione siamo in grado di dimezzare la larghezza di banda del segnale modulato rispetto ad una tecnica di modulazione AM (vedi figura 1.4.2.1).

Solitamente le trasmissioni marine e le trasmissioni meteo vengono trasmesse nelle bande laterali superiori (USB).

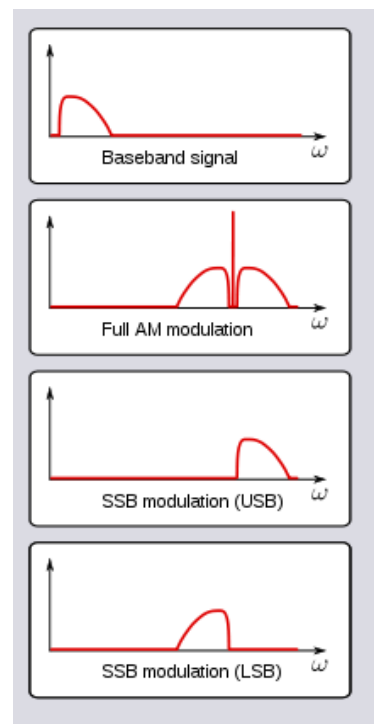
Va sottolineato che per la trasmissione marina in SSB è necessaria una licenza (a meno che non si tratti di trasmissioni di emergenza).

In caso di emergenza esistono alcune frequenze usate appositamente per queste segnalazioni con la Guardia Costiera ( 2182, 4125, 6215, 8291, 12290, 16420kHz in USB).

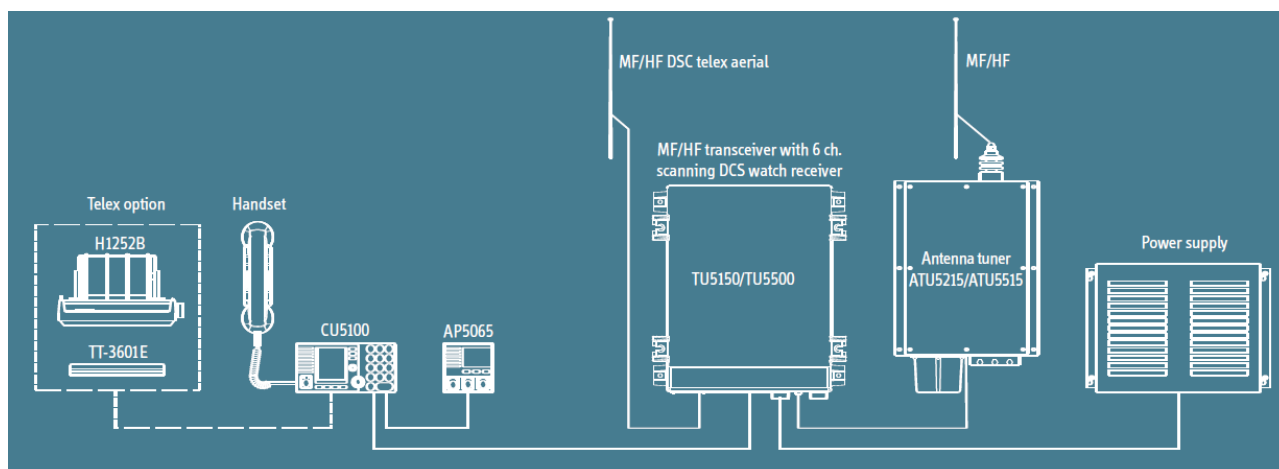
L'apparato radio MF/HF in SSB scelto per il progetto è **la stazione MF/HF SAILOR SYSTEM 5000 THRANE & THRANE.**

Essa viene fornita con i seguenti dispositivi (collegati poi come in figura 1.4.2.2):

- 1) Trasmettitore a 250W con integrato modem e radiotelex DSC ed antenna trasmittente
- 2) Apparato antenna ed antenna MF/HF (SAILOR ATU5215)
- 3) Unità ricevente e di controllo (CU5100)
- 4) Alimentatore dedicato



(fig. 1.4.2.1) modulazione SSB



(fig. 1.4.2.2) SCHEMA DI MONTAGGIO STAZIONE MF/HF SAILOR SYSTEM 5000 THRANE & THRANE

### 1.4.3 RADIOTELEFONI VHF

Si è optato per radiotelefoni portatili Sailor SP3520 Thrane & Thrane operanti in un range di frequenze da 149 a 174 MHz.



(fig. 1.4.3.1) Sailor SP3520

## 1.5 DISPOSITIVI DI EMERGENZA

### 1.5.1 TRANSPONDER RADAR (SART)

Per le situazioni di emergenza, a bordo nave vengono installati dispositivi come i SART (Search and Rescue Transponder) utilizzati per individuare una scialuppa di salvataggio o una nave in difficoltà. Quando attivati, trasmettono un segnale in banda X dei radar (9 GHz e lunghezza d'onda di 3cm).

Questi transponder possono essere intercettati in un raggio di circa 8 miglia nautiche da dove si trovano e inviano un segnale diverso man mano che ci si avvicina o ci si allontana.

Le specifiche di progetto richiedono la presenza di due Radar Transponder e si è optato per i **SAILOR SART II della Thrane & Thrane** (fig. 1.5.1.1).

Una volta attivati, hanno un'autonomia di 96 ore in condizioni di stand-by e se interrogati fino a 8 ore in trasmissione continua, sono inoltre impermeabili fino a 10m di profondità.



(fig. 1.5.1.1) SAILOR SART II della Thrane & Thrane



## 1.5.2 DISPOSITIVO DI LOCALIZZAZIONE DI EMERGENZA: EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacons)

L'E.P.I.R.B. è un trasmettitore radio che indica la posizione in caso d'emergenza, usato in ambito marittimo. Ogni dispositivo è fornito di un codice d'identificazione esadecimale a 15bit ed in caso di emergenza effettua una trasmissione sulla frequenza di 406 MHz oltre che un segnale a bassa potenza a 121.5 MHz.

Sono in grado di trasmettere accurate posizioni GPS all'interno del messaggio di soccorso.

Il messaggio trasmesso sulla frequenza 406MHz contiene le seguenti informazioni:

- 1) Il paese di origine
- 2) Il codice a 15 bit esadecimale di identificazione
- 3) L'identificazione della nave o aereo in emergenza
- 4) La posizione GPS
- 5) Se è presente o meno anche la trasmissione a 121.5MHz

Questo messaggio è in genere codificato in 30 caratteri esadecimali.

Gli EPIRB a 406 MHz sono divisi in due categorie:

a) Quelli ad attivazione automatica; si attiva quando l'EPIRB viene sganciato dal suo alloggio. Gli EPIRB di questa categoria sono equipaggiati di speciali imbracature con ganci a rilascio idrostatico, questo meccanismo sgancia l'EPIRB in acqua ad una profondità da 1 a 4 metri e una volta in superficie comincia a trasmettere.

È molto importante che vengano montati all'esterno della struttura dell'imbarcazione dove sia possibile lo sgancio nel caso in cui l'imbarcazione affondi.

b) EPIRB ad attivazione manuale.

È inoltre necessaria la registrazione del dispositivo per aiutare le forze di soccorso nella ricerca in casi d'emergenza.

Dispositivo scelto: **SAILOR SE-II epirb Thrane & Thrane** (fig. 1.5.2.1) in grado di trasmettere il segnale fino a 48 ore.



(fig. 1.5.2.1) SAILOR SE-II epirb Thrane & Thrane

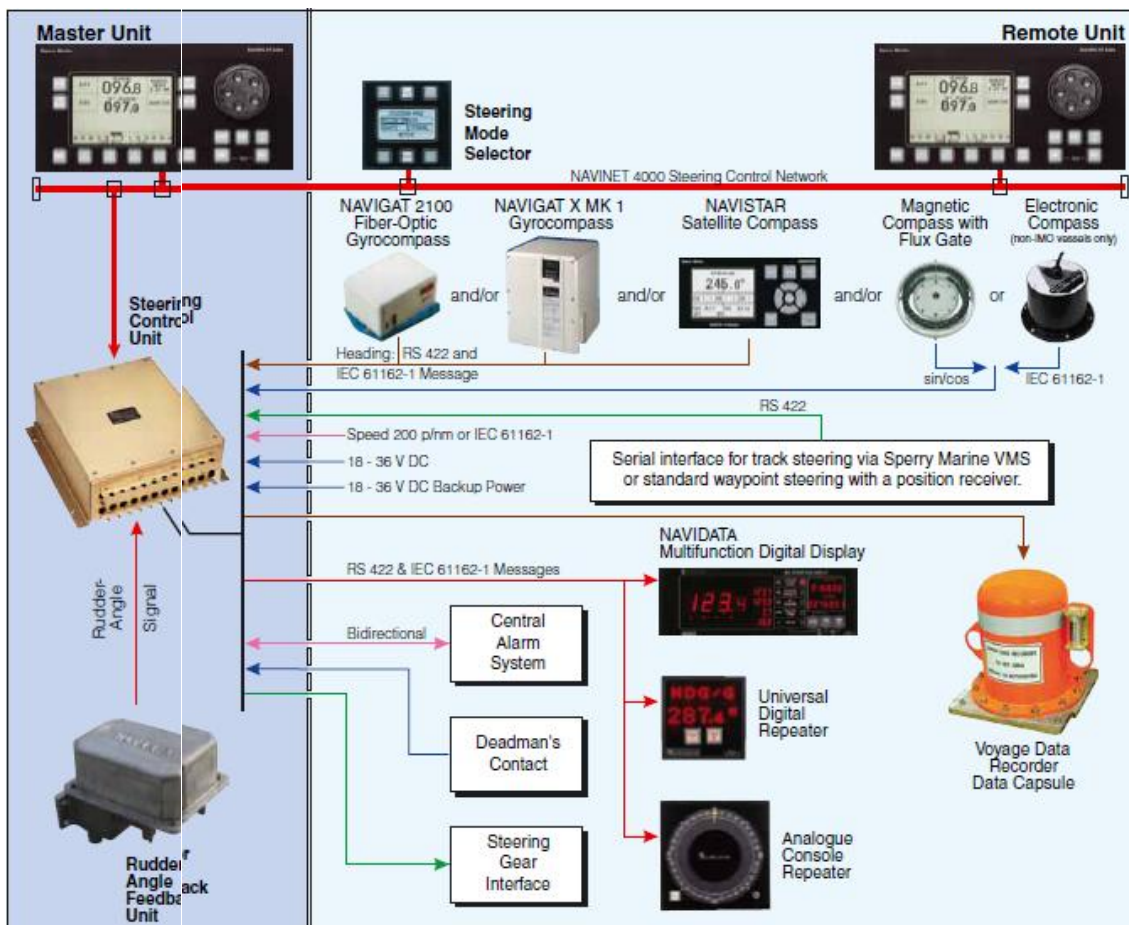
## 1.6 GIROBUSSOLA ED APPARECCHIATURE METEO

### 1.6.1 GIROBUSSOLA

La girobussola è un particolare tipo di bussola (chiamata anche direzionale o bussola giroscopica), ovvero un sistema di navigazione per trovare una direzione fissata, non basato sul campo magnetico terrestre, ma sulle proprietà giroscopiche. La bussola giroscopica determina la direzione del Nord sfruttando leggi fisiche: l'inerzia giroscopica, le proprietà dei girostati e della sfera terrestre, la rotazione intorno all'asse e la forza di gravità. Al principio di funzionamento del giroscopio, che mantiene fisso l'orientamento rispetto ad un punto fisso nello spazio, viene aggiunta la forza di gravità applicata con un peso sui dei giunti che mantengono in sospensione il giroscopio e che in unione alle altre forze applicate creano un puntamento geografico preciso. A differenza della bussola magnetica, quella giroscopica punta verso il nord geografico, non risentendo della presenza del campo magnetico terrestre, quindi non è soggetta ad errori di deviazione e a quelli dovuti alla declinazione magnetica. Questo sistema, rispetto alla bussola magnetica, ha il vantaggio di indicare il nord geografico (invece del polo nord magnetico) e di essere insensibile ai disturbi prodotti da campi magnetici perturbanti, mentre come svantaggio richiede la presenza di un motore per mettere e mantenere in rotazione un rotore. Viene usato principalmente su navi ed aerei insieme ad altri sistemi di navigazione. A differenza della bussola magnetica risente di un effetto chiamato precessione apparente, dovuto alla rotazione terrestre, quindi deve essere periodicamente riallineata utilizzando una bussola magnetica.

Tutto l'apparato di Girobussola viene utilizzato come parte integrante del sistema di navigazione automatico. Infatti i due sistemi verranno collegati tra loro per un corretto funzionamento.

È stato scelto l'apparato Navitwin IV della Sperry Marine, composto da girobussola MK 1, sistema di ripetitori e bussola magnetica. Nella figura 1.6.1.1 viene illustrato lo schema di collegamento dei vari componenti.



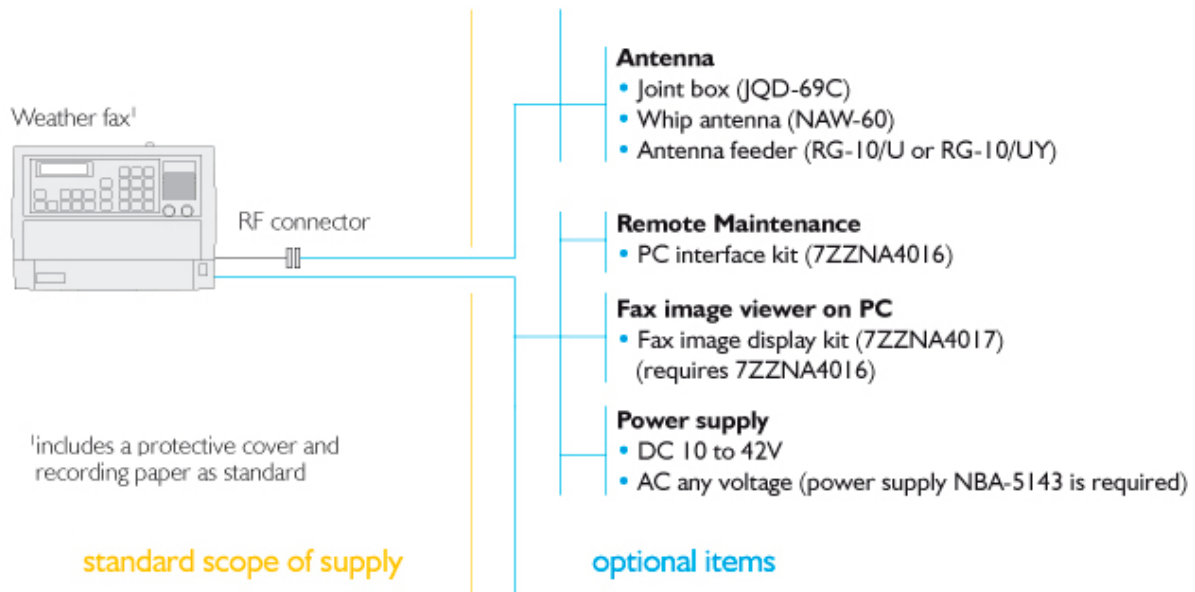
(fig.1.6.1.1) SCHEMA DI COLLEGAMENTO APPARATI DI GIROBUSSOLA E PILOTA AUTOMATICO

## 1.6.2 APPARATI METEO

Come da specifiche, a bordo viene richiesta la presenza di un ricevitore meteo fax ed alcuni strumenti come l'anemometro (per la rilevazione dell'intensità del vento).

### 1.6.2.1 RICEVITORE FAX METEO

È stato scelto il ricevitore meteo fax JRC JAX-9B con le seguenti caratteristiche fondamentali: Range di frequenza da 2.0000 a 24.9999 MHz, possibilità di collegamento a PC, modalità di ricezione automatica o manuale (figura 1.6.2.1).



*(fig. 1.6.2.1) WEATHER FAX RECEIVER JRC JAX-9B*

### 1.6.2.2 NAVTEX



Il NAVTEX ("NAVigational TEXT Messages,") è un servizio internazionale automatico, trasmesso sulle medie frequenze, di stampa diretta per l'invio di avvisi e bollettini di navigazione e meteorologici. Viene usato anche per trasmettere informazioni urgenti sulla sicurezza tra navi.

Fu sviluppato come sistema semplice ed a basso costo per fornire informazioni a bordo delle navi in un raggio di circa 370 km (200 miglia nautiche).

*(fig.1.6.2.2) NAVTEX NCR-333*

Non è previsto nessun costo per la trasmissione e ricezione NAVTEX.

Le trasmissioni avvengono sulle frequenze 518 e 490KHz, in particolar modo la frequenza 518KHz è relativa alle trasmissioni internazionali, mentre in quella a 490KHz avvengono trasmissioni di carattere regionale. Questo servizio utilizza una modulazione di tipo BFSK (binary frequency-shift keying= modulazione in frequenza) con una velocità di 100bps con shift in frequenza di 170Hz. I caratteri vengono poi trasmessi in un codice di 7bit.

Si è scelto l'apparato JRC NAVTEX NCR-333 (vedi figura 1.6.2.2).

### 1.6.2.3 ANEMOMETRO

Come rilevatore di intensità e direzione del vento (anemometro) verrà installato il dispositivo della DEIF con i relativi sensori, interfaccia di collegamento e display.

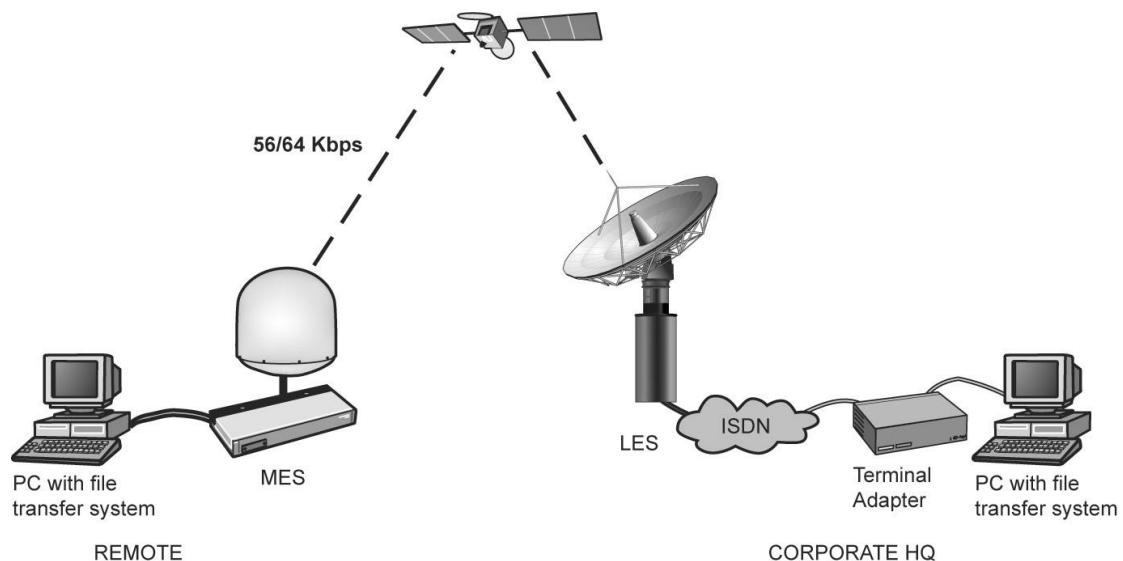


(fig. 1.6.2.3) SENSORE, DISPLAY ED INTERFACCIA DI COLLEGAMENTO ANEMOMETRO DEIF

## 1.7 APPARATI INMARSAT

### 1.7.1 INMARSAT DI TIPO B CON TELEFAX

Il sistema mobile digitale Inmarsat di tipo B fornisce due linee telefoniche dirette, telex, fax e comunicazioni dati, attraverso una rete satellitare, da e verso qualsiasi parte del mondo con unica eccezione le regioni polari. Il terminale Inmarsat B è una piccola stazione satellitare terrestre, in ambiente marittimo, avente un'antenna parabolica e tutta la relativa elettronica (sopra ponte), e di un impianto (sotto ponte) comprendente le unità elettroniche, alimentatori e interfacce utente (tra cui telex, telefono, modem, fax). I terminali a bordo nave vengono definiti "Mobile Earth Stations" (MESs), e allo stesso modo le stazioni in terra ferma sono definite Land Earth Stations (LESs), così una chiamata da un MES è instradata, attraverso la rete Inmarsat, a una LES; come viene mostrato nella figura 1.7.1.1.



(fig. 1.7.1.1) SCHEMA TRASMISSIONE INMARSAT

## 1.7.2 INMARSAT DI TIPO C

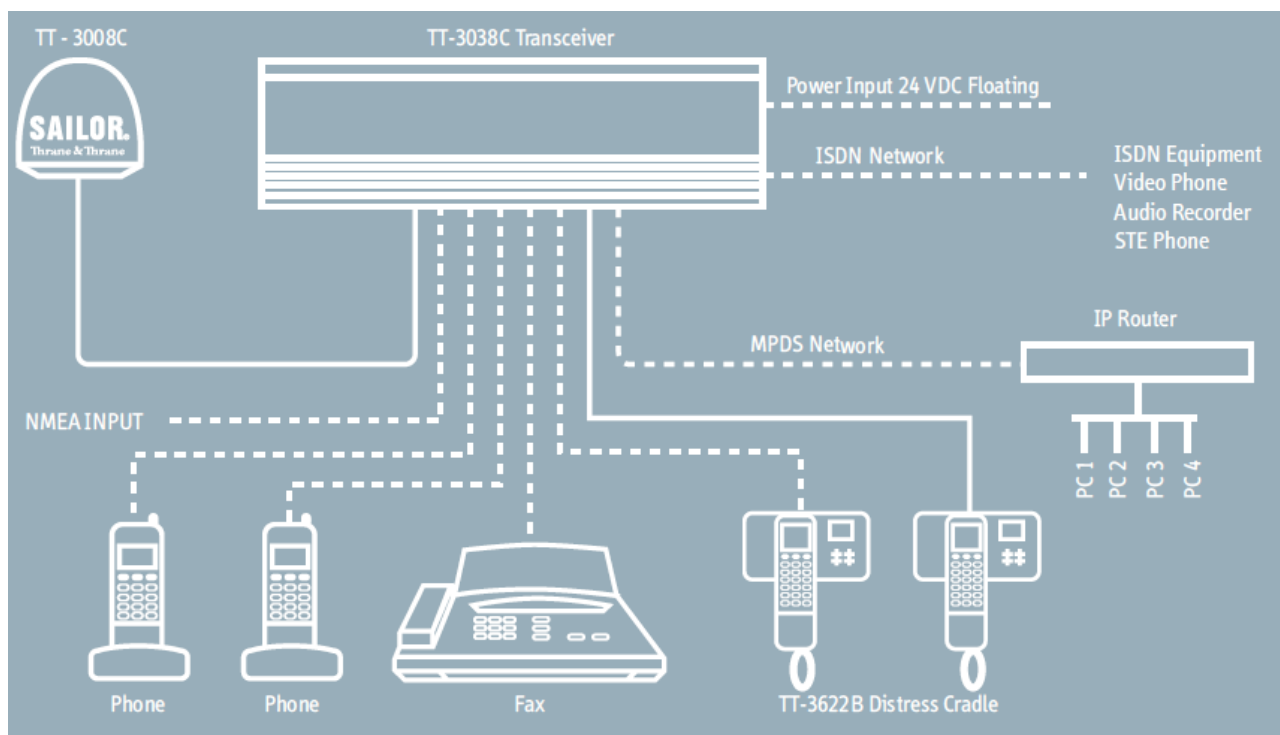
L'Inmarsat-C soddisfa i requisiti per i sistemi di sicurezza e di allarme per le navi ed è approvato dal GMDSS. Offre servizi di trasferimento dati, e-mail, SMS, chiamata dell'equipaggio, telex, controllo a distanza, segnalazione della posizione, aggiornamenti meteo e informazioni di sicurezza marittima. È richiesta la presenza di un ricetrasmittente Inmarsat – C o apparecchi ricetrasmittenti a basso consumo (mini-C).

Nella scelta dei dispositivi Inmarsat richiesti sono state apportate alcune modifiche rispetto le specifiche assegnate, infatti veniva richiesta una stazione Inmarsat di tipo B, ma essendo questa ormai obsoleta e poco usata, si è optato per una stazione aggiornata **Inmarsat fleet 77 Thrane & Thrane Sailor** (come standard viene usato l'Inmarsat fleet77 → un aggiornamento dell'Inmarsat-A o B).

La comunicazione dati avviene con una velocità fino a 128kbps attraverso un servizio ISDN, velocità di trasmissione fax da 9,6kbps e 64kbps, velocità trasmissione vocale 4.8kbps, a frequenza audio di 3.1kHz.

La stazione è composta da diversi componenti (come da figura 1.7.1.2):

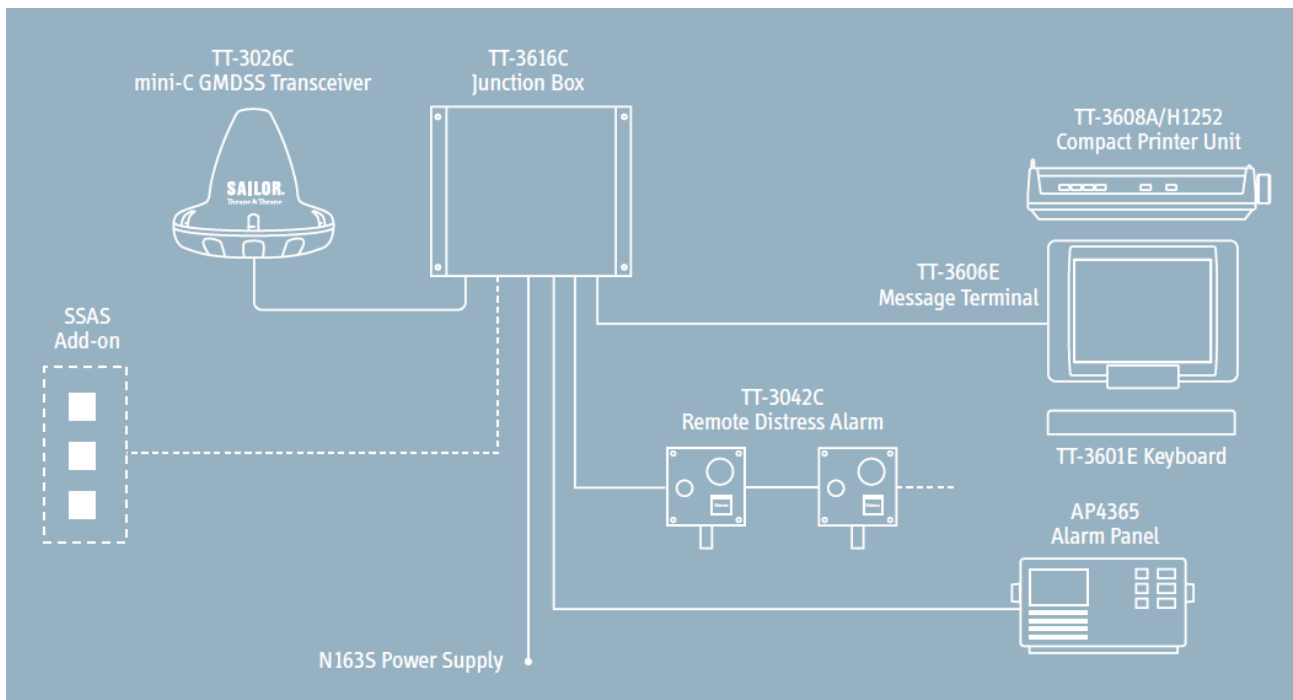
- 1) Telefax
- 2) Unità ricetrasmittente (TT-3038C)
- 3) Antenna ricevente (TT-3008C)
- 4) Distress cradle (TT-3622B)
- 5) Telefono portatile
- 6) Strumentazione ISDN portatile



*(fig. 1.7.1.2) TERMINALE Thrane & Thrane SAILOR FLEET 77+*

Per le stazioni Inmarsat C si sono scelti i sistemi **Thrane & Thrane TT-3000E mini – C** anch'essi composti da alcuni apparati (vedi figura 1.7.2.1):

- 1) Ricetrasmittitore (TT-3026C)
- 2) Terminale video 10" (TT-3606E)
- 3) Tastiera (TT-3601)
- 4) Stampante (TT-3608)
- 5) Pannello d'allarme (AP4365)
- 6) Centralina di collegamento (TT-3616)



*Fig. 1.7.2.1 SCHEMA DI MONTAGGIO STUMENTAZIONE INMARSAT C (Thrane & Thrane SAILOR TT-3000E MINI-C)*

## **CAP. 2 INSTALLAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE DI BORDO**

### **2.1 REQUISITI GENERALI ED ALLESTIMENTO DELLA PLANCIA**

#### **2.1.1 DISPOSIZIONE STRUMENTI IN PLANCIA**

Le principali apparecchiature di controllo e monitoraggio verranno sistemate in tre console.

È stata indicata solamente la disposizione degli strumenti di comunicazione, di navigazione e di ricerca pesce.

Sono state rispettate le normative DNV e SOLAS in particolare le sezioni: SECTION 6: USER INTERFACE (pt.4 ch9 Control and Monitoring System (Ships)), Pt. 7 Ch.17 Safety of Navigation for Naval Vessel per quanto riguardano le DNV, mentre Chap 04 e 05 per le Solas.

Queste danno delle direttive sul corretto design della plancia e una corretta disposizione degli strumenti.

a) **PONTE A PRORAVIA:** i seguenti strumenti vanno installati in ciascuna ala di plancia:

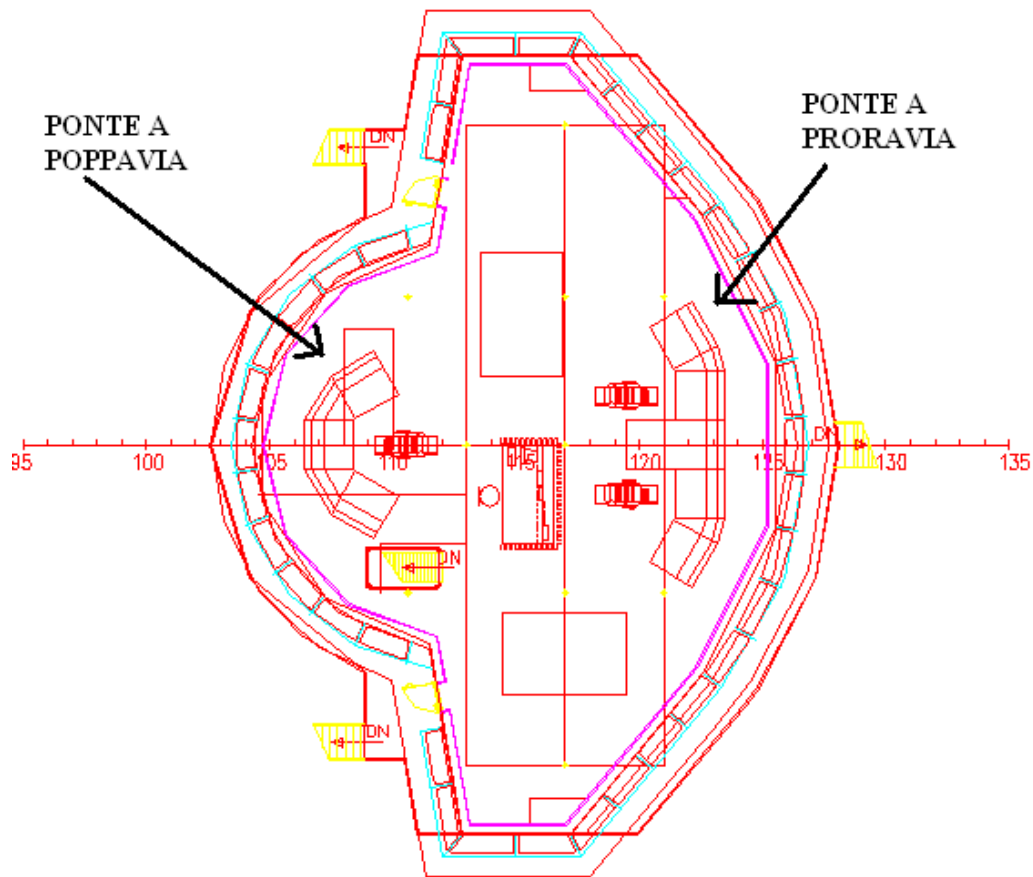
- selettore pilota automatico
- radar
- apparecchiature di ricerca pesce
- sincronizzazione dei dati
- plotter
- ricevitore radio
- pilota automatico
- intercomunicante
- impianto radio intercomunicante
- controllo pescato
- ricerca direzione MF/HF
- ricerca direzione VHF
- navigatore satellitare

b) **PONTE DI POPPAVIA:**

- radar asservito

c) **CONSOLE LOCALE RADIO (INSTALLATA IN SPECIFICO LOCALE RADIO):**

- radio-telefono VHF
- comunicazione satellitare (Inmarsat C, satcom B)
- telex SSB/HT
- computer/stampanti
- postazione radio



## *BRIDGE DECK*

27200 from B.L.

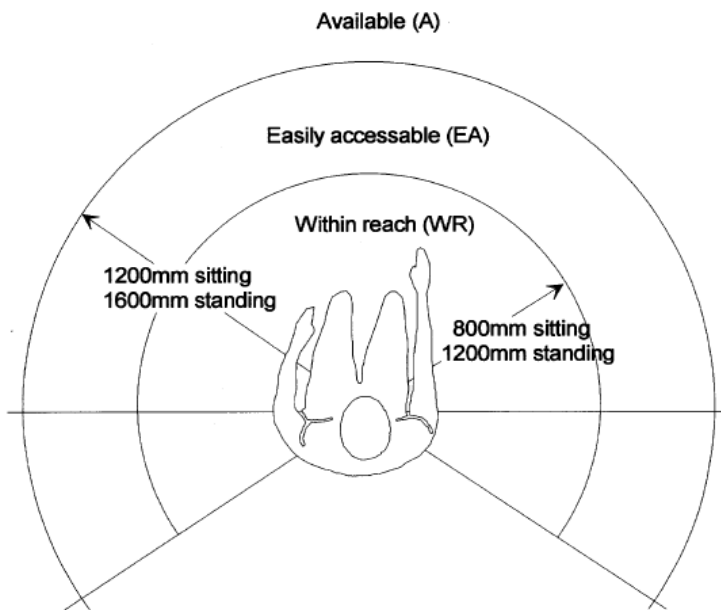
*(fig. 2.1.1.1) PLANCIA SU FACTORY TRAWLER SECONDO FILE CAD DEL PIANO GENERALE*

Le normative prese in esame forniscono dei requisiti per l'interfaccia utente che garantiscono un funzionamento sicuro ed efficiente dei sistemi installati con gli obiettivi di:

- a) carico di lavoro a controllo adattato per l'utente/i in tutti i modi anche in caso di problemi del sistema;
- b) garantire decisioni rapide e corrette;
- c) garantire azioni veloci e corrette;
- d) evitare stress inutili.

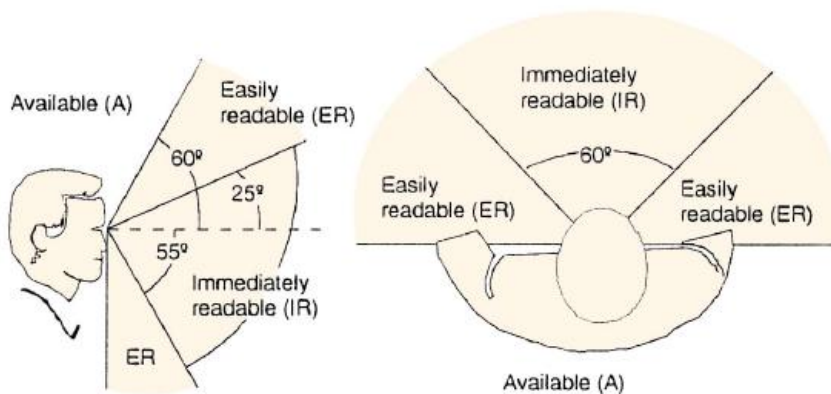


**La disposizione degli strumenti viene suddivisa in:**



- 1) A portata di mano (**within reach**)
- 2) Facilmente accessibile (**easily accessible**)
- 3) Disponibile (**available**)

*(fig. 2.1.1.2) MODALITÀ DI DIPOSIZIONE (UID ARRANGEMENT)*



Un'altra distinzione nella disposizione (da come si può notare nella figura 2.1.1.3) è data da:

- 1) Immediatamente leggibile (**immediately readable**)
- 2) Easily readable (**facilmente leggibile**)
- 3) Disponibile (**available**)

*(fig. 2.1.1.3) MODALITÀ DI DISPOSIZIONE VISIVA (VDU ARRANGEMENT)*

**STANDARD PER STRUMENTI CHE UTILIZZANO DISPLAY:**

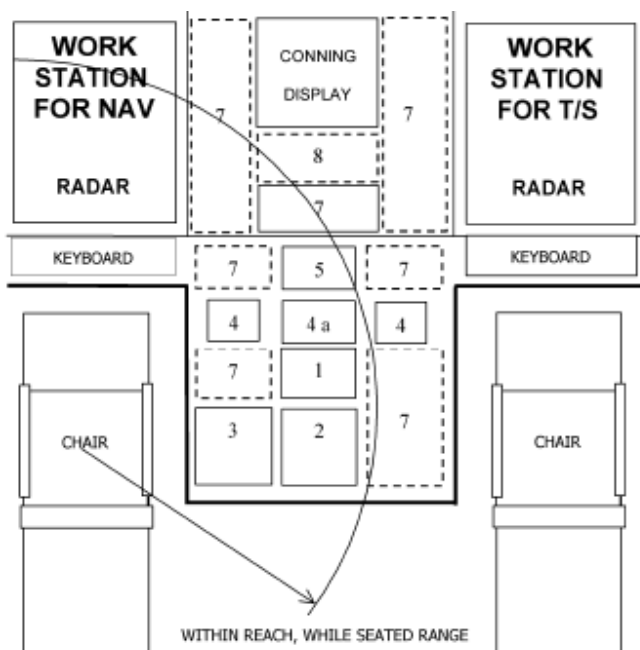
Le postazioni di lavoro devono essere configurate in modo da fornire all'utente l'accesso simultaneo al monitoraggio e alle funzioni di controllo.

Gli elementi del sistema di controllo, con le relative indicazioni per il monitoraggio delle funzioni essenziali, devono essere sempre disponibili.

Un utente in nessun caso deve operare in più di due console contemporaneamente per eseguire un insieme di funzioni tra loro correlate.

Tutte le informazioni date dagli strumenti devono essere chiaramente visibili da parte degli utenti in ogni condizione di luce.

## 2.1.2 DESIGN DELLA STAZIONE DI LAVORO (WORKSTATION)



### DESCRIZIONE CONTROLLI (fig 2.1.2.1):

- 1) Timoneria e autopilota
- 2) Propulsione e arresto di emergenza
- 3) Elica (se disponibile)
- 4) Sterzo: controllo override
- 4A) Sterzo: controllo modalità
- 5) Comunicazione esterna
- 6) Comunicazione interna
- 7) Spazio disponibile

*(fig. 2.1.2.1) disposizione strumenti*

Le workstations per la navigazione devono essere progettate per consentire ai due navigatori di svolgere i propri compiti, ognuno dalla propria postazione.

Gli strumenti devono essere sufficientemente vicini per consentire ad ogni singolo navigatore di svolgere tutte le azioni in maniera efficiente.

I seguenti strumenti devono essere gestiti da ciascuna persona dalla propria postazione di lavoro, ed è fondamentale che siano raggiungibili anche da una postazione in piedi:

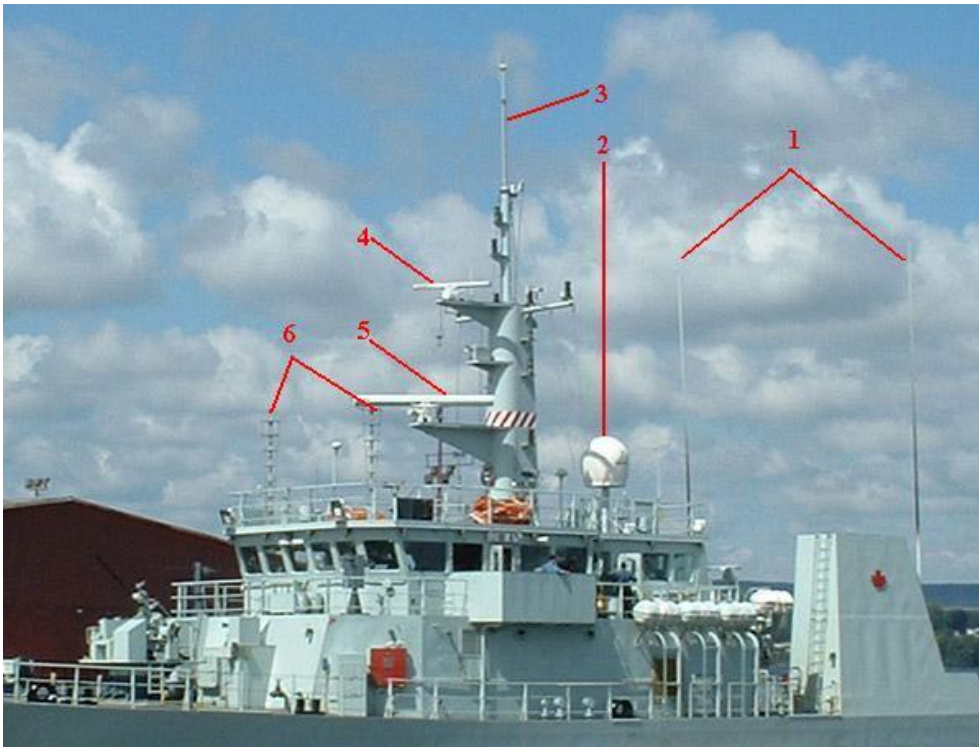
- a) controlli e display dei radar di navigazione
- b) display delle cartografia
- c) entrambi i ricevitori GPS
- d) unità VHF
- e) equipaggiamento di comunicazione interna
- f) pulsante per il fischio
- g) dispositivo di riconoscimento di allarmi
- h) pannello di allarme
- i) indicatore di distanza

altre apparecchiature ritenute indispensabili per le operazioni di navigazione devono essere facilmente leggibili.

## 2.2 ALLESTIMENTO PONTE ANTENNE

Nella figura 2.2 vengono evidenziate alcune delle antenne che saranno presenti anche nel Factory Trawler:

- 1) antenne MF/HF
- 2) antenna per sistema Inmarsat
- 3) antenna UHF e VHF per direction finder
- 4) antenna per radar X-band (radar di navigazione)
- 5) antenna per radar S-band (radar di ricerca)
- 6) antenne per MF/HF



*(fig. 2.2)*

Quelle mostrate in figura 2.2 rappresentano le principali antenne installate a bordo nave; nelle pagine seguenti verranno analizzate in dettaglio.



### 2.2.1 ANTENNE RADAR E DIRECTION FINDER

Le dimensioni delle antenne radar che andranno ad equipaggiare il Factory Trawler sono: 2550mm di lunghezza per 217mm di larghezza ed uno spessore di 102mm per l'antenna del radar X-band (dimensioni della parte rotante), mentre 3700mm di lunghezza, 485mm di larghezza e 118mm di spessore per quella del radar S-band

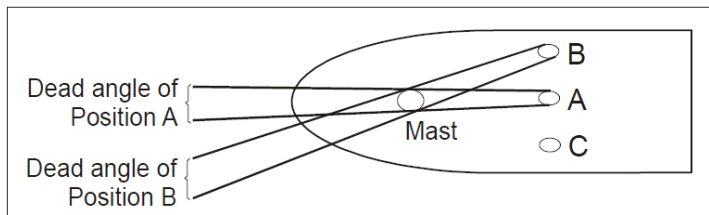
Nella figura 2.2.1.1 è inoltre presente l'antenna VHF per il direction finder (posizionata nel punto più alto dell'albero) avente una frequenza operativa da 24.1MHz a 455MHz.

*(fig. 2.2.1.1) antenne radar e direction finder*

Importante è inoltre il posizionamento delle antenne radar: da ciò dipendono le prestazioni del sistema sia a corto che a lungo raggio d'azione.

È necessario un'installazione in modo da non incontrare ostacoli in linea d'aria, per non produrre echi di disturbo. L'assenza di echi di disturbo, in particolare sul lato di tribordo, deve essere garantita poiché la visione laterale è estremamente importante per il monitoraggio di navi in avvicinamento e fondamentale nel caso in cui si navighi in canali stretti.

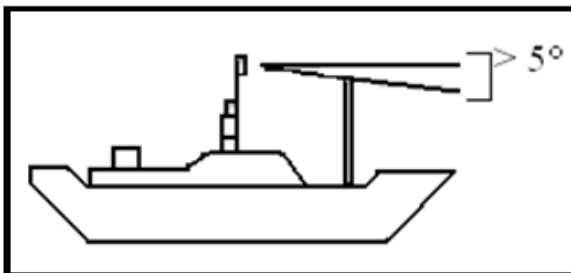
Gli oggetti che in genere ostruiscono il fascio radar sono piloni, ciminiere e grosse bitte per l'ormeggio. Se ci sono molti ostacoli potrebbe essere necessario posizionare lo scanner a lato di tribordo della nave cioè nel lato destro partendo dalla prua della nave (vedi figura 2.2.1.2).



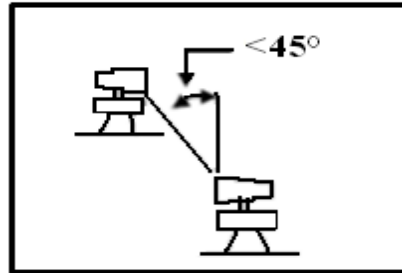
(fig. 2.2.1.2) *posizionamento scanner radar*

Il seguente caso (posizione B in figura 2.2.1.2) dà all'antenna una zona libera per la direzione del lato di tribordo della nave. Infatti, in direzione della prua della nave, un albero o una gru potrebbero spesso riflettere o sopprimere i segnali trasmessi dall'antenna e se l'ostacolo forma un'ostruzione

significativa è possibile modificare l'angolo di depressione dello scanner rispettando un minimo di 5° (vedi fig. 2.2.1.3a). Si deve ricordare che quando l'altezza dello scanner è minimizzata le prestazioni a corto raggio sono massimizzate, ma comunque è necessario mantenere una posizione sufficientemente elevata (angolo >5°) in modo da non avere malfunzionamenti. Le due figure sottostanti danno un'illustrazione di ciò (immagini prese da datasheet radar sperry visionmaster).

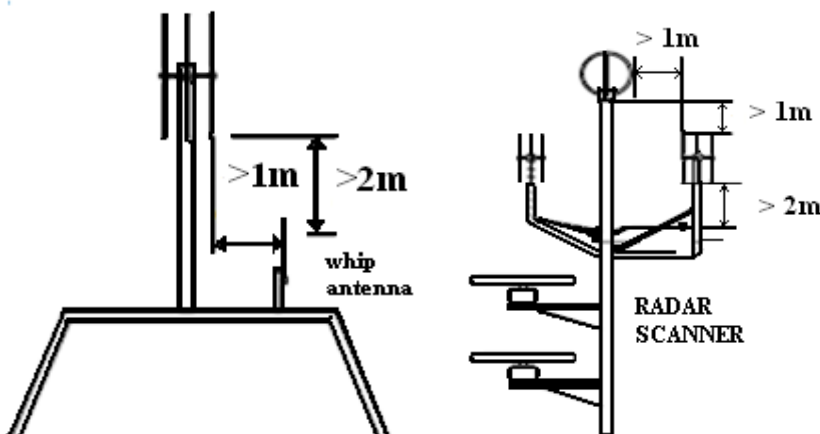


(fig 2.2.1.3a) *angolo depressione radar*



(fig. 2.2.1.3b) *massimo angolo tra le due antenne*

Per evitare interferenze tra le due antenne radar installate è necessario che la distanza verticale tra le due sia massima, ma il massimo angolo di riverbero tra le due antenne, come si nota nella seconda figura 2.2.1.3b, deve essere al massimo 45°.



L'antenna VHF del direction finder deve essere installata nella posizione più alta della nave, e verticalmente ad almeno 1m di altezza dal piano metallico e ad almeno 2m più in alto di un'eventuale altra antenna VHF. La figura 2.2.1.4 chiarisce queste specifiche.

(fig. 2.2.1.4) *DISPOSIZIONE ANTENNA DIRECTION FINDER (DA DATASHEET TAIYO L1550A)*



## 2.2.2 ANTENNE MF/HF

Queste antenne vengono utilizzate per la comunicazione radio; ne verrà installata una con una lunghezza di 8,2m per le comunicazioni HF/MF operante in un range di frequenze da 1.6 a 30MHz (usata per comunicazioni radio SSB), con una potenza di trasmissione d'impulso fino 1.5kW (aerial coupler **AT82**) e montata ad una altezza di almeno 2 metri al di sopra del tetto.

Per la stazione Sailor 5000 da noi utilizzata viene richiesta l'installazione di un'altra antenna, di dimensioni 5,5m e un range di frequenza da 0.15 a 30 MHz (receiver AR55T) Per il Weather Fax viene utilizzata un'antenna analoga ma di dimensioni inferiore: 4,2m e sempre operante tra i 0.15 e 30 MHz (AR42MT).

Nelle documentazioni vengono specificate anche resistenza massima al vento, momento di flessione, temperatura operativa.

*(fig. 2.2.2.1) antenna MF*

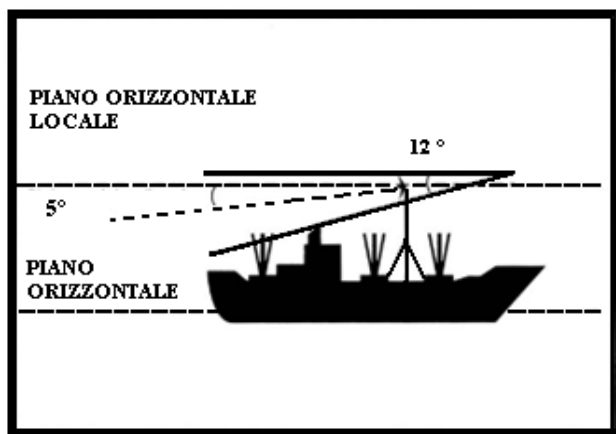
## 2.2.3 ANTENNE INMARSAT

### 2.2.3.1 RICEVITORE INMARSAT FLEET 77



*(fig. 2.2.3.1) antenna INMARSAT F77*

L'antenna per INMARSAT FLEET77 o ADU (fig. 2.2.3.1) che utilizzeremo avrà un diametro esterno di 845mm. La collocazione di questo ricevitore deve essere in una posizione abbastanza elevata tale da non presentare ostacoli in tutti i sensi per  $-5^\circ$  di livello (figura 2.2.3.2) Ciò significa che non dovrebbero esserci ostacoli sul fascio principale dell'antenna (figura 2.2.3.2) con un angolo di  $12^\circ$  rispetto il piano orizzontale elevato. Nella collocazione va tenuto conto dei livelli di vibrazione che potrebbero essere introdotti con l'uso di un albero alto utile però per ridurre al minimo i settori d'ombra.



*(fig. 2.2.3.2) disposizione ADU Fleet 77*

Gli oggetti ad una distanza inferiore di 10 metri che creano una zona d'ombra superiore a  $6^\circ$  rischiano di degradare le prestazioni delle apparecchiature, è perciò preferibile avere un raggio libero da oggetti di almeno 3m dall'antenna.

Poiché l'ADU Fleet è un trasmettitore piuttosto potente, può provocare disturbi agli altri sistemi radio. In particolare altri sistemi Inmarsat a ricevitori GPS con una bassa capacità di discriminazione delle frequenze sono vulnerabili alle radiazioni generate dall'ADU Fleet.

È difficile dare delle direttive esatte per le distanze minime tra un antenna radar ed un ADU, poiché la potenza del radar, il percorso e la forma degli impulsi e la frequenza operativa varia da dispositivo a dispositivo.

L'ADU verrà tipicamente posizionato nel campo vicino all'antenna del radar e le riflessioni dovute ad alberi, ponti ed altri oggetti presenti nelle vicinanze saranno differenti da nave a nave.

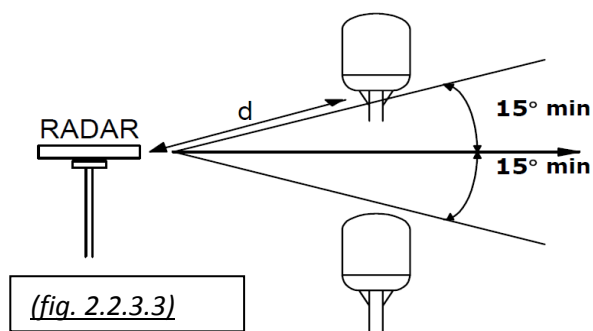
Nonostante i problemi sopraindicati vengono comunque date delle direttive guida:

Dal momento che un radar irradia un fascio a ventaglio con una larghezza orizzontale di pochi gradi e verticale fino a  $\pm 15^\circ$ , l'interferenze con l'ADU possono essere evitate con un il montaggio di quest'ultimo

ad un piano al di sopra o al di sotto di  $15^\circ$  (vedi figura 2.2.3.3).

Adottando questa separazione verticale, le distanze con le antenne radar possono essere ridotte notevolmente (inferiori ai 10m).

Pertanto è sempre consigliata la massima separazione verticale quando l'ADU deve necessariamente essere posizionato nelle vicinanze di antenne radar.



La minima separazione accettabile ( $d_{min}$  = minima distanza dalla superficie dell'ADU) tra radar e ADU è determinata dalla lunghezza d'onda e potenza emessa dal radar.

Le tabelle 2.2.3.1 e 2.2.3.2 danno alcune distanze di separazione minime in funzione della potenza nelle due diverse bande (X e S), che se rispettate in genere garantiscono il corretto funzionamento dei dispositivi.

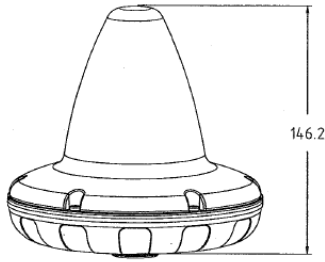
X-band ( $\sim 3 \text{ cm} / 10 \text{ GHz}$ ) damage distance		
Radar power	d min. at $15^\circ$ vertical separation	d min. at $60^\circ$ vertical separation
0 – 10 kW	0.8 m	0.4 m
30 kW	2.4 m	1.2 m
50 kW	4.0 m	2.0 m

S-band ( $\sim 10 \text{ cm} / 3 \text{ GHz}$ ) damage distance		
Radar power	d min. at $15^\circ$ vertical separation	d min. at $60^\circ$ vertical separation
0 – 10 kW	0.4 m	0.2 m
30 kW	1.0 m	0.5 m
50 kW	2.0 m	1.0 m

(tab 2.2.3.1 e 2.2.3.2) DISTANZE MINIME DA ANTENNE RADAR DA DATA-SHEET INMARSAT F77



### 2.2.3.2 RICEVITORE INMARSAT MINI-C



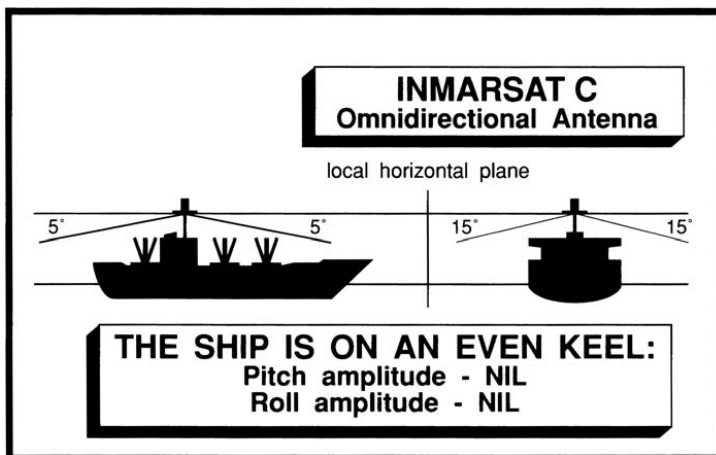
Il ricevitore INMARSAT-C da come si vede nella figura 2.2.3.5, deve essere situato in una posizione in cui nessun ostacolo possa degradare in modo significativo le prestazioni del dispositivo. Un'indicazione di massima nell'installazione è di un angolo di luce di  $-5^\circ$  verso lo specchio di prova e poppa e di  $-15^\circ$  in direzione laterale; le antenne vicine, soprattutto quelle a qualche metro, non devono provocare zone d'ombre superiori a  $2^\circ$ .

(fig. 2.2.3.4 ricevitore INMARSAT MINI-C)

Durante l'installazione deve essere trovata una posizione che sia esente da ostacoli e tale da mantenere un'opportuna distanza dalle altre antenne in particolare dagli impianti radar.

Normalmente il posto migliore sarà sopra gli scanner radar.

Le seguenti distanze devono essere comunque mantenute: a) almeno 5 metri di distanza da antenne HF, b) almeno 4 metri di distanza da antenne VHF, c) almeno 0,5 metri da altre antenne Inmarsat C, d) almeno 0,3 metri da compassi magnetici.

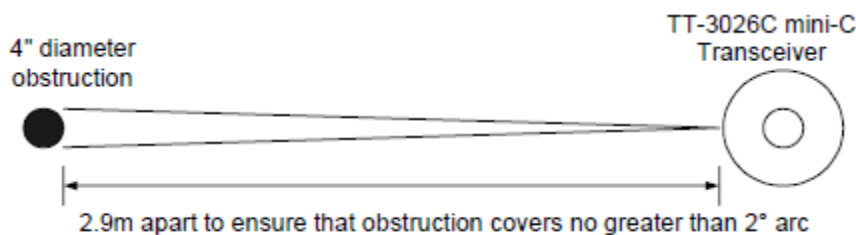


(fig 2.2.3.5) INSTALLAZIONE ANTENNA INMARSAT MINI-C

Si fa tuttavia riferimento alla formula 2.2.3.1 (data dal costruttore) per calcolare la minima distanza dell'antenna da un ostacolo:

**Distanza sicurezza =  $29 \times$  Diametro oggetto ostruzione (formula 2.2.3.1)**

Per esempio un oggetto con un diametro di ostruzione di 4" (0,1m) la distanza di sicurezza risulta pari a 2,9m.



(fig 2.2.3.6) DISTANZA DA OSTRUZIONI (DA DATASHEET INMARSAT MINI-C)

## 2.2.4 RICEVITORI DGPS



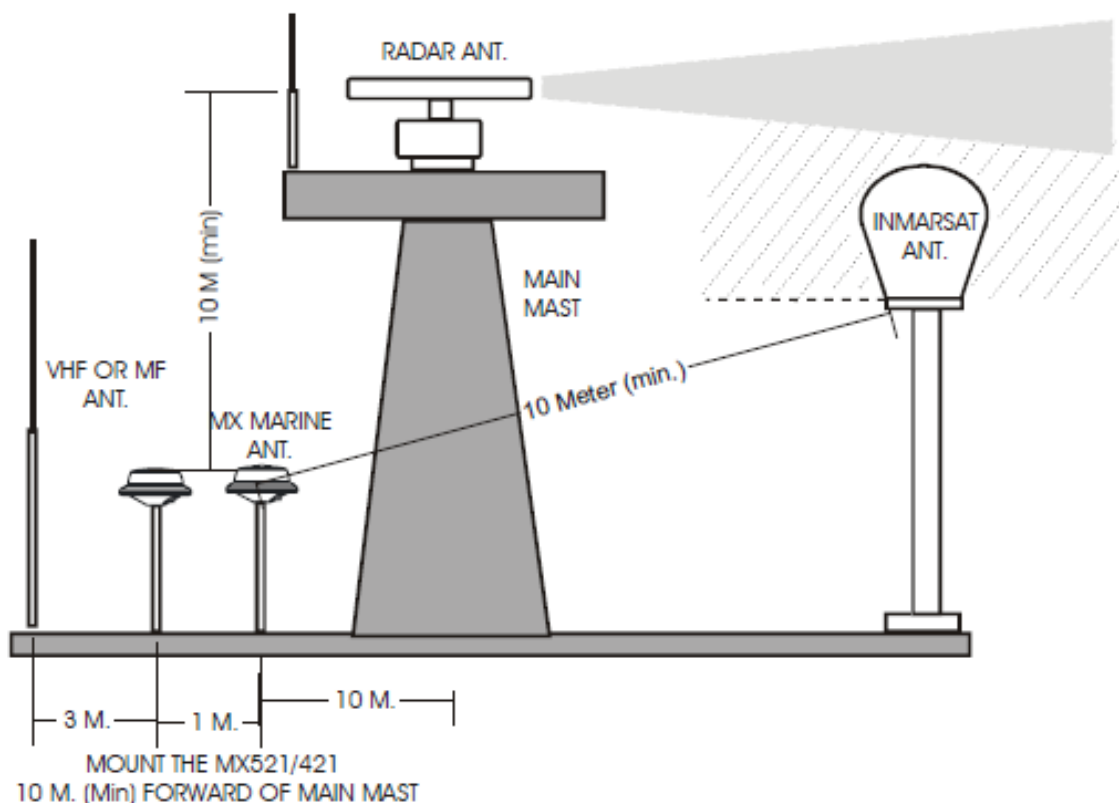
*(fig. 2.2.4.1) Ricevitore DGPS Leica mx421b*

Per il corretto rilevamento della posizione è necessario che vengano rispettate alcune distanze da altre antenne, rappresentate in figura 2.2.4.2, specialmente con quelle ad alta potenza.

- 1) almeno 10 metri da trasmettitori radar, Inmarsat ed altri trasmettitori ad alta potenza,
- 2) almeno 3 metri da antenne VHF o HF,
- 3) almeno 1 metro da altre antenne GPS

Va inoltre evidenziato che l'antenna deve essere collocata in basso per evitare un eccessivo errore di velocità e posizione durante la navigazione e in un luogo in cui abbia la possibilità di ricezione del segnale cioè dove non sia oscurata ma abbia la piena visione del cielo.

Deve essere inoltre facilmente accessibile per eventuali manutenzioni.



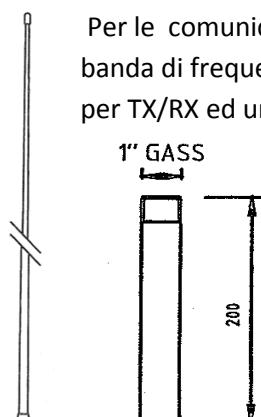
*(fig. 2.2.4.2) DISTANZE DA RISPETTARE PER ANTENNE DGPS (DA DATASHEET LEICA MX421B-10)*



## 2.2.5 ANTENNE VHF

### 2.2.5.1 ANTENNE PER COMUNICAZIONI RADIOTELEFONICHE

Per le comunicazioni radiotelefoniche vengono montate due antenne VHF di lunghezza di 1,2m, banda di frequenza di funzionamento da 156 a 163MHz (BANTEN DC/TU ne saranno montate 2 una per TX/RX ed una per DSC).



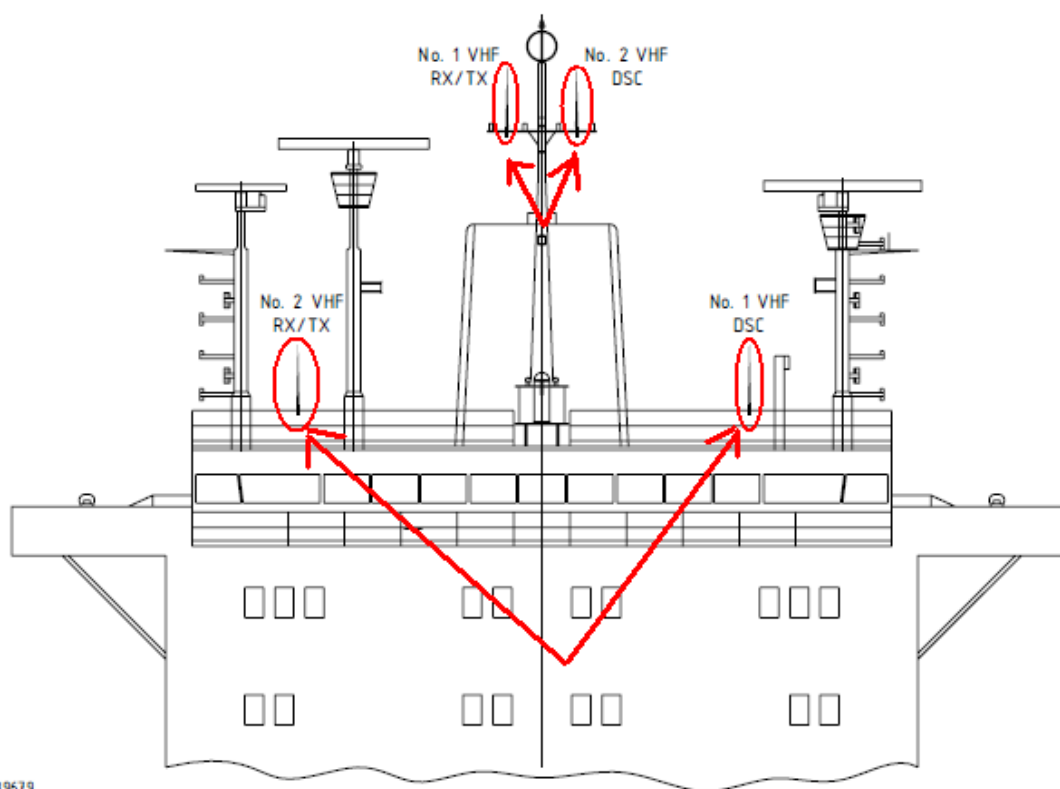
*(fig. 2.2.5.1) antenne VHF radiotelefono*

Negli impianti costituiti da due o più antenne radio VHF è importante garantire che queste forniscano le migliori prestazioni scegliendo attentamente la loro collocazione.

Il parametro più importante nel raggiungimento delle massime prestazioni è quello di garantire che nessuna delle antenne di trasmissione/ricezione dell'impianto siano posizionate allo stesso livello orizzontale, cioè antenne riceventi o trasmettitori devono essere installate ad altezze diverse.

In situazioni in cui è difficile ottenere una sufficiente distanza verticale, la distanza orizzontale tra esse avrà sempre una ruolo fondamentale nelle prestazioni delle apparecchiature; con una minima separazione verticale deve essere garantita una distanza orizzontale sempre superiore a 5m.

Inoltre è necessaria un'installazione di queste antenne ad una distanza minima di 2 metri da qualsiasi albero presente o da altre antenne radio, e devono essere tenute il più distante possibile dai fasci di trasmissione dei radar e Inmarsat.



39679

*(fig. 2.2.5.2) ESEMPIO DISPOSIZIONE ANTENNE*

### 2.2.5.2 ANTENNA PER AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM

Questo ricevitore è composto da due parti fondamentali:

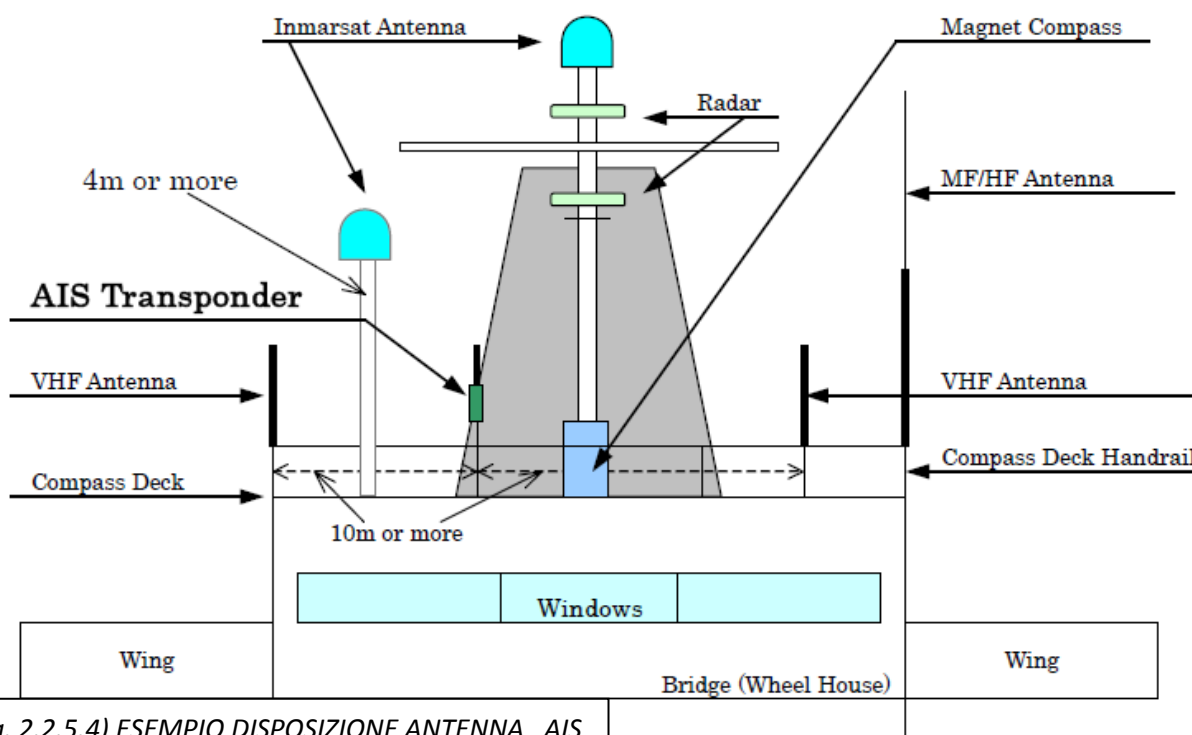
- ANTENNA GPS
- ANTENNA VHF



Bisogna porre attenzione a non posizionarlo vicino ad antenne ad alta potenza come radar e Inmarsat ma mantenere almeno 10 m di distanza da queste; deve distare almeno 3m da antenne radio HF/MF, e non allo stesso livello orizzontale di altre antenne VHF ma con un dislivello di almeno 2m; tutto ciò viene riassunto nella figura 2.2.5.4.

Avendo incorporata un'antenna GPS è necessario garantire anche un'ampia veduta alla superficie della calotta per non incorrere ad un errato rilevamento della posizione, è necessario quindi che il ricevitore sia distante da zone d'ombra causate da grossi oggetti.

(fig. 2.2.5.3) antenna AIS



(fig. 2.2.5.4) ESEMPIO DISPOSIZIONE ANTENNA AIS

### 2.2.6 SENSORE ANEMOMETRO



**Sensore vento DEIF WSS**, questo sensore deve essere posizionato lontano da oggetti di grandi dimensioni che posti vicino potrebbero influenzare i risultati della misurazione, anche se ciò normalmente a bordo nave è una condizione pressoché impossibile.

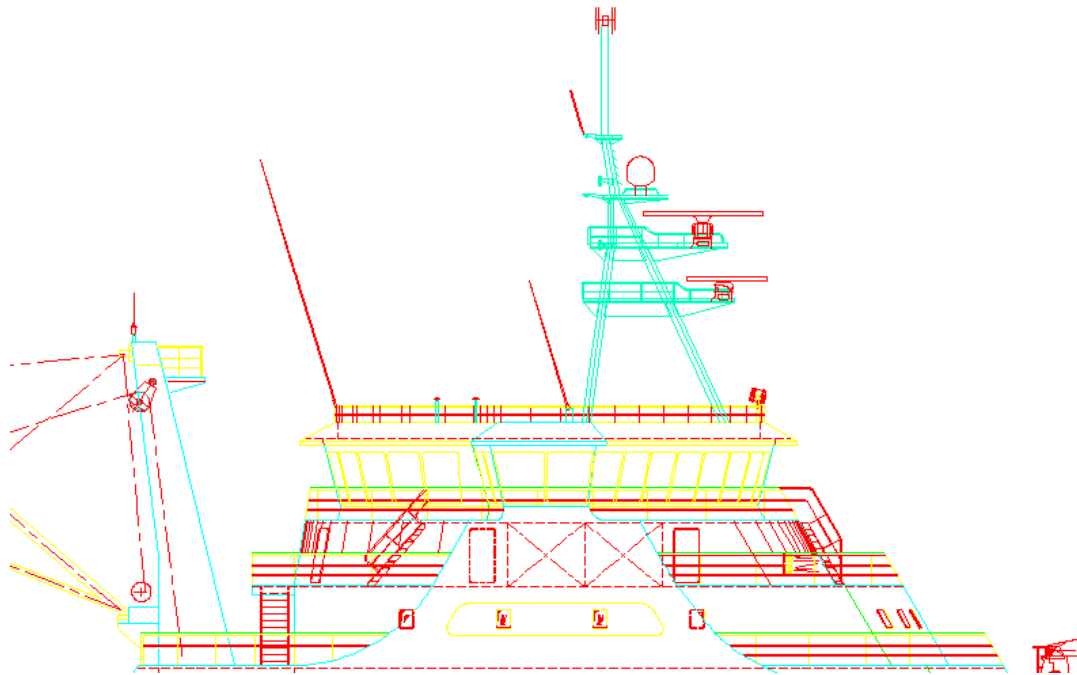
Il miglior risultato nella rilevazione si ottiene posizionando il sensore nella parte superiore di un albero nel lato opposto alla struttura sopraelevata della nave. Risulta invece svantaggioso il posizionamento appena sopra della struttura sopraelevata poiché essa è costituita da facce laterali larghe che alterano il rilievo dell'intensità e direzione del vento.

(fig. 2.2.6.1 sensore DEIF)

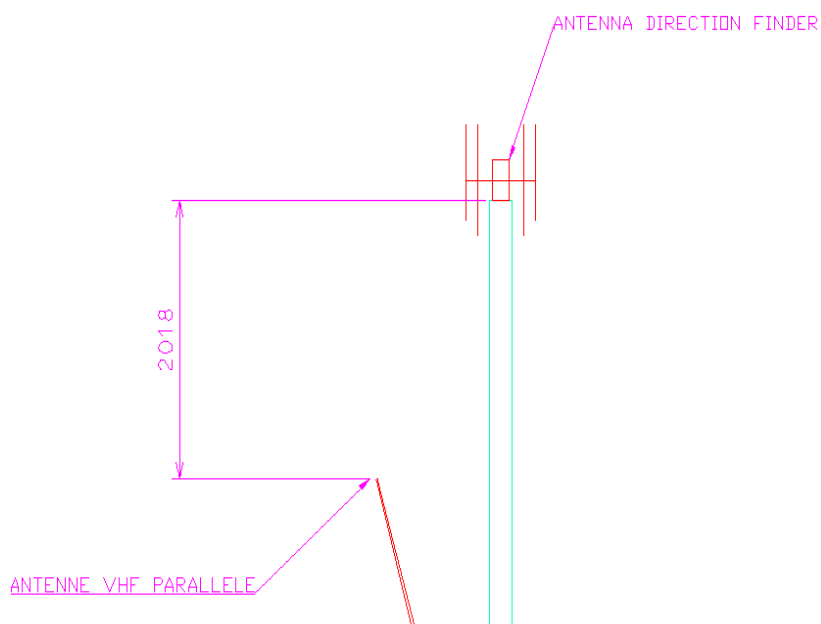
## 2.2.7 ALLESTIMENTO PONTE ANTENNE: FILE CAD

Viene ora riportata la disposizione delle principali antenne sul ponte fatta su file cad, rispettando le distanze fondamentali sopra riportate.

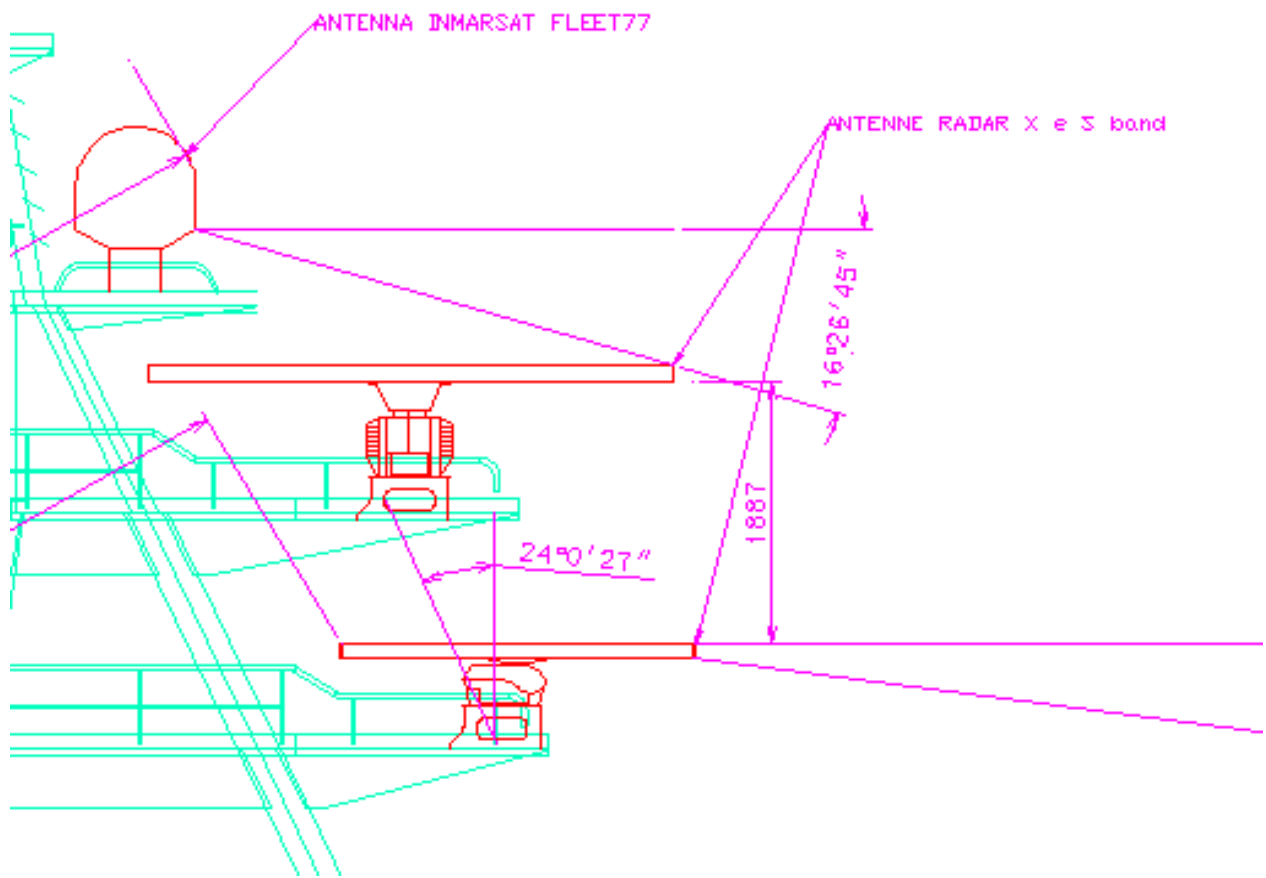
Questo file rappresenta una disposizione di massima, e i vari ricevitori potrebbero subire degli spostamenti in fase di progetto. Si nota come con questa disposizione siamo in grado di rispettare i vincoli imposti per garantire il corretto funzionamento degli apparati senza che interferiscano tra loro.



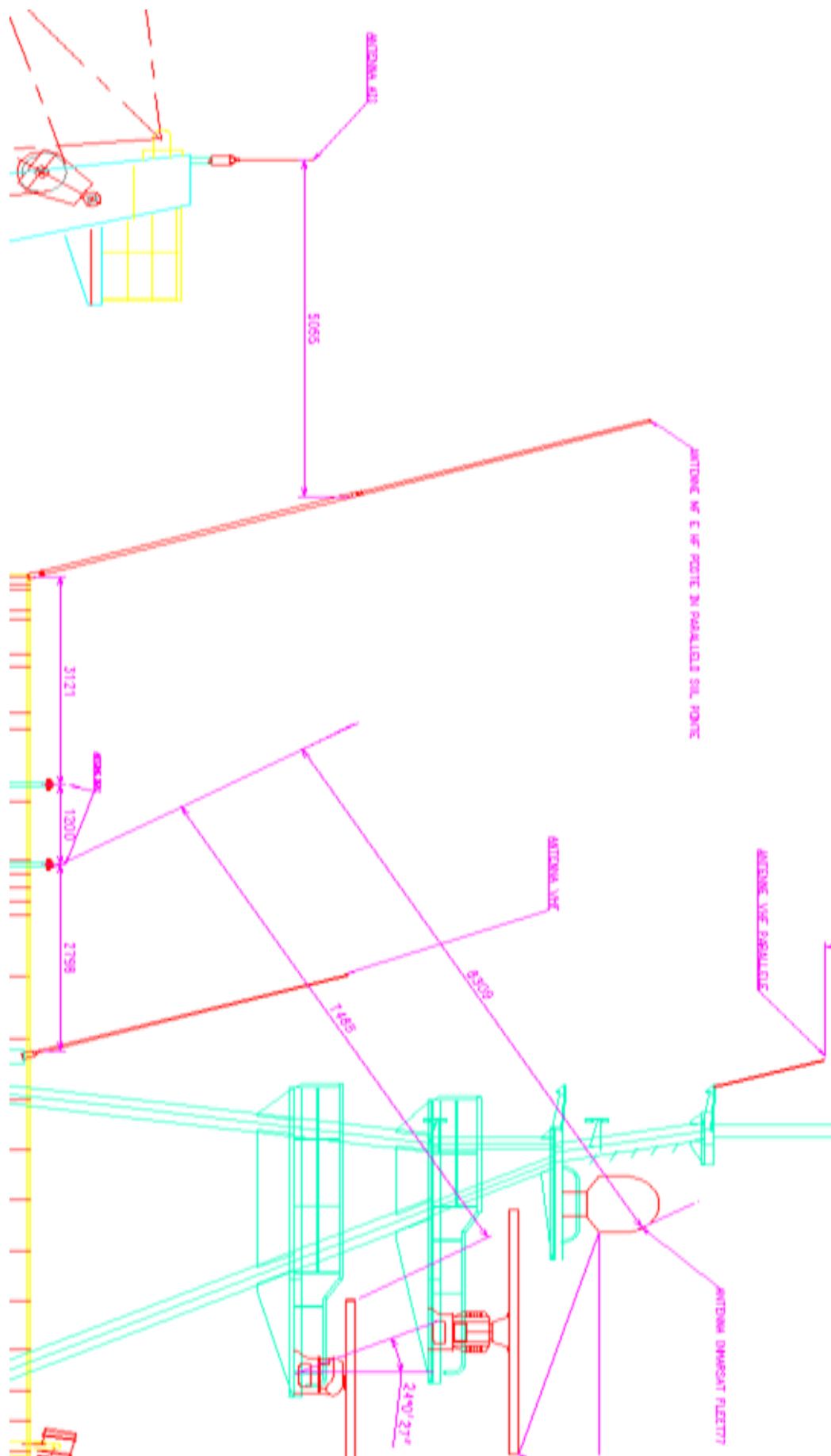
(fig. 2.2.7.1) FILE CAD DISPOSIZIONE PRINCIPALI ANTENNE SU PONTE



(fig. 2.2.7.2) DISTANZE PER ANTENNA DIRECTION FINDER DA FILE CAD



(fig. 2.2.7.3) DISTANZE RADAR E INMARSAT FLEET 77 DA FILE CAD



(fig. 2.2.7.4) FILE CAD DISTANZE TRA LE PRINCIPALI ANTENNE

## 2.3 CABLAGGI:

Tutti gli apparati montati a bordo nave sono collegati alle rispettive centraline e antenne mediante cavi schermati che non dovrebbero essere interessati da campi magnetici esterni; tuttavia è consigliabile non far passare vicini cavi di segnale e cavi di alimentazione AC poiché vi è la possibilità di una generazione disturbi che potrebbero portare a mal funzionamenti del sistema.

Alcuni dispositivi, come l'AIS, richiedono che i cavi di collegamento siano passati in canale dedicate e soprattutto non vicini ad altri cavi di dispositivi diversi, per esempio di radio HF/MF, per non introdurre possibili interferenze.

Per alcune apparecchiature viene stabilita la lunghezza massima del cavo e della sezione.

### 2.3.1 CAVI PER INMARSAT MINI C

#### 2.3.1.1 CAVO DI ALIMENTAZIONE PER CENTRALINA 3616

Il connettore di alimentazione è progettato per accettare un cavo con una sezione trasversale fino a 2.5mm<sup>2</sup>. La scelta della sezione del cavo dipende dalla tensione di alimentazione, dalla lunghezza del cavo di alimentazione e dalla lunghezza del cavo del transceiver. La resistenza tipica del cavo è data dalla tabella 2.3.1.1

Cross section [mm <sup>2</sup> ]	0.5	1	1.5	2	2.5
Resistance [Ω/km]	32.2	16.1	10.7	8.05	6.76

(tab. 2.3.1.1)

Per calcolare la lunghezza massima (in metri) per un determinato tipo di cavo di alimentazione data la lunghezza del cavo transceiver, vengono date dal costruttore le formule 2.3.1.1 e 2.3.1.2:

$$L_{MAX,20M} = 156 \cdot \frac{(V_{MIN} - 10.5)}{R_{CABLE}} \quad \text{and} \quad L_{MAX,50M} = 156 \cdot \frac{(V_{MIN} - 16)}{R_{CABLE}}$$

(formula 2.3.1.1)

(formula 2.3.1.2)

V<sub>MIN</sub> è la minima tensione di alimentazione da garantire e R<sub>CABLE</sub> è la resistenza del cavo in Ω/km.

Nota che L<sub>MAX, 20M</sub> significa lunghezza massima del cavo di alimentazione dato un cavo transceiver di lunghezza 20m

#### Per esempio:

Usando un'alimentazione a 24V e supponendo che la V<sub>MIN</sub> possa essere assunta di valore 22V, usando un cavo per il transceiver di lunghezza 50m e con una sezione di 1mm<sup>2</sup> (resistenza 16.1 Ω/km), la massima lunghezza del cavo di alimentazione risulta essere L<sub>MAX,50M</sub> = 58 m

Usando invece un'alimentazione a 12V e assumendo V<sub>MIN</sub>= 11V con un cavo per il transceiver di 20m e sezione 2.5mm<sup>2</sup> (resistenza 6,76 Ω/km), la massima lunghezza del cavo di alimentazione risulta essere: L<sub>MAX, 20M</sub>=11 m.

## **2.3.2 CAVI PER RADAR**

### **2.3.2.1 CAVI DI ALIMENTAZIONE**

La scelta dei cavi di alimentazione deve essere fatta adeguatamente per garantire un corretto funzionamento. Devono essere ordinati cavi specifici e di lunghezza opportuna.

Nella scelta dei cavi per la strumentazione radar devono essere rispettati i seguenti punti:

- a) la tensione di alimentazione per l'apparato radar non deve superare il 2% della tensione nominale del cavo.
- b) La corrente richiesta dall'apparato non deve assolutamente superare la corrente nominale supportata dal cavo.
- c) Se il sistema radar è alimentato da una rete trifase, esso deve essere connesso attraverso due delle tre linee di fase e se è un'alimentazione ad alta tensione (220/240V) è necessario un trasformatore di isolamento per ridurla.

### **2.3.2.2 CAVI DI CONTROLLO**

I cavi di controllo possono avere una lunghezza massima di 180m, nel caso in cui non siano sufficientemente lunghi esistono dei speciali kit che portano ad una lunghezza massima di 300m.

I cavi sono multicore flessibili e a fascio, con un filamento in rame stagnato. Ogni conduttore è isolato con una guaina in PVC. I nuclei sono inoltre schermati con un intreccio di filamenti in rame stagnato e tutto in un altro rivestimento in PVC. Il range di temperatura operativa va da -25°C a +70°C.

### **2.3.2.3 CAVI COASSIALI DI SEGNALE**

I cavi coassiali di segnale per le interunità possono avere una lunghezza massima di 300m a seconda del tipo di cavo scelto.

Questi sono a doppia schermatura ed hanno un'impedenza nominale di 75ohm.

L'intrecciatura viene fatta con filo di rame stagnato per ridurre i problemi di corrosione.

## **2.3.3 SCHEMATURA ELETTROMAGNETICA**

Lo scopo di una schermatura per EMC è:

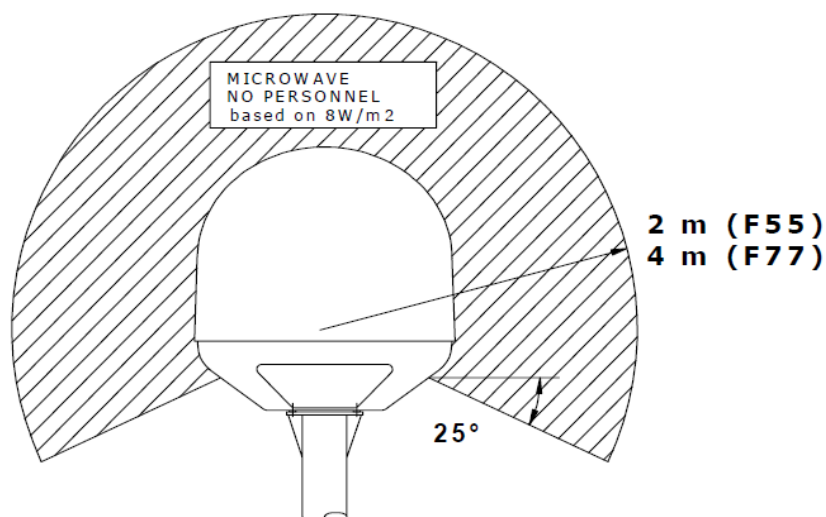
- limitare l'emissione di energia elettromagnetica dalle apparecchiature;
- ridurre l'influenza elettro-magnetica esterna.

Tutte le singole attrezzature hanno una schermatura EMC sfruttando il loro telaio di protezione. Tuttavia la schermatura deve essere estesa al sistema completo comprendente cavi ed unità esterne e solo così si riuscirà a mantenere un'alta efficienza contro i disturbi elettromagnetici.

In genere tutti i cavi dei dispositivi vengono ordinati con specifiche lunghezze (in base alle collocazioni progettuali degli apparati). Nella fase di montaggio non devono essere né tagliati né allungati se non attraverso opportuni kit e devono essere rispettate tutte le regole che garantiscono la prevenzione della generazione di disturbi elettromagnetici.

## 2.4 DISTANZE DI SICUREZZA NELL'INSTALLAZIONE DELLE ANTENNE :

### 2.4.1 INMARSAT F77



La distanza di sicurezza da rispettare per non incorrere a livelli di emissione di microonde dannosi durante la trasmissione deve essere di almeno 4m (figura 2.4.1.1).

Per Inmarsat MINI-C è necessaria una distanza minima di 0,3m poiché quest'antenna trasmette con una potenza molto inferiore rispetto a F77.

*(fig. 2.4.1.1) RAGGIO DISTANZA SICUREZZA DA ANTENNE INMARSAT F77*

### 2.4.2 RADAR

Console Assembly	Standard	Steering
250 Console deck mounted	TBA	TBA
340 Console desktop	TBA	TBA
340 Console deck mounted	2.9 m	1.9 m
Console Modules		
250 Monitor (19" FPD)	1.8 m	1.8 m
340 Monitor (23.1" FPD)	2.6 m	2.6 m
Processor Unit	2.0 m	1.3 m
PCIO Unit	2.2 m	1.5 m
On-Off Switch Module	0.3 m	0.3 m
Trackball Module	0.3 m	0.3 m
USB connector	0.3 m	0.3 m
X-band Units		
Scanner Unit 10kW	1.4 m	0.8 m
Scanner Unit 25kW	3.3 m	2.0 m
Scanner Unit (without Transceiver)	0.4 m	0.3 m
Bulkhead Transceiver 10kW	1.3 m	0.7 m
Bulkhead Transceiver 25kW	3.3 m	2.0 m
S-band Units		
Scanner Unit 30kW	4.1 m	2.4 m
Scanner Unit (without Transceiver)	0.8 m	0.5 m
Bulkhead Transceiver 30kW	4.3 m	2.6 m
Scanner Control Unit	0.8 m	0.4 m

Nella tabella 2.4.2.1 sono elencate le distanze di sicurezza (nessun operatore deve trovarsi a distanze inferiori da quelle indicate quando le antenne sono attive) che devono essere rispettate nell'installazione delle antenne radar; evidenziamo quelle di nostro interesse:

- distanza da unità X-band a 10kw = 1.4m
- distanza da unità S-band a 30kw = 4.1 m

*(tab. 2.4.2.1) DISTANZE DI SICUREZZA DA RISPETTATE PER ANTENNE RADAR*



### 2.4.3 STAZIONE RADIO

L'apparecchiatura radio di bordo non è destinata all'utilizzo in un ambiente non controllato. Nonostante tutti gli apparati siano stati testati e risultino conformi ai limiti di esposizione RF per uso professionale, devono essere rispettati dei limiti per l'esposizione umana.

Al fine di assicurare che gli utenti non siano esposti a quantità eccessive di energia elettromagnetica (al di là dei limiti FCC RC consentiti per uso professionale) e quindi di evitare rischi per la salute, viene fissato un massimo valore ammissibile di esposizione fissato da FCC RC. Tutte le persone devono essere ad una distanza di almeno 1,8 m dall'antenna quando la radio è trasmissione.

Nell'installazione delle antenne è così necessario il montaggio a 3.9 metri al di sopra del ponte più alto dove vi è la presenza di persone; la misura viene fatta verticalmente dal punto più basso dell'antenna.

Questo permette di mantenere la distanza minima di 1.8 metri se si considera una altezza dell'individuo di 2m.

Se l'antenna deve essere ubicata in aree pubbliche o in vicinanza di persone, essa deve comunque essere collocata ad una distanza non inferiore a 3.6m dal possibile l'accesso umano.

Il non rispetto di una qualsiasi di queste avvertenze può causare il superamento dei limiti di esposizione posti da FCC RF e creare così situazioni di pericolo.

## **CAP. 3 STRUMENTAZIONE PER LA PESCA**

### **3.1 L'ECOSCANDAGLIO**

#### **3.1.1 INTRODUZIONE**

Fino agli anni cinquanta e per buona parte degli anni sessanta i pescatori riuscivano a conoscere bene i fondali marini, grazie alla loro notevole esperienza, maturata in anni ed anni; oggi, “vedere” il fondo marino non è più così impegnativo.

In questi ultimi anni con l'avvento e con l'evoluzione della tecnologia elettronica navale applicata nel campo della navigazione e della pesca, sono stati fatti veramente dei passi da gigante grazie all'introduzione e all'utilizzo dell'ecosonda elettronica ad ultrasuoni, meglio conosciuta come ecoscandaglio marino.

Originariamente impiegato nelle ricerche idrografiche per scopi scientifici, geografici e militari, oggi l'ecoscandaglio si rivela uno straordinario strumento per la sua grande utilità nel rilevare e analizzare la batimetria dei fondali marini: dalle aree portuali a quelle costiere.

È in sostanza un comune apparato elettronico, dotato di tasti e di un monitor, attraverso il quale si riesce a “leggere” il fondo marino, e se vi sono ostacoli o bersagli che si interpongono tra la sonda ed il fondo stesso.

#### **3.1.2 FUNZIONAMENTO ECOSCANDAGLIO ED ELEMENTI FONDAMENTALI**

##### **3.1.2.1 GLI ELEMENTI PRIMARI DELL'ECOSCANDAGLIO ED IL SUO FUNZIONAMENTO**

Dunque l'ecoscandaglio, come qualsiasi apparato elettronico che deve mostrare un'immagine a prescindere dal sistema impiegato, si compone di tre elementi fondamentali: il trasmettitore, il ricevitore/amplificatore e il trasduttore.

I primi due sono all'interno di un box che viene posizionato in genere nella plancia di guida dell'imbarcazione, mentre il trasduttore viene fissato sullo scafo e collegato al box tramite un cavo apposito. Nel momento in cui si attiva elettricamente lo strumento, il trasmettitore invia una piccola quantità di energia elettrica verso il trasduttore che la commuta in impulso sonoro lanciandolo verso il fondo marino. Appena l'impulso raggiunge il fondo si produce un effetto eco ed il segnale viene rimbalzato verso l'alto ritornando al trasduttore. A questo punto avviene il processo inverso: l'eco si riconverte in energia elettrica.

Nella fase di ritorno, il segnale risulterà notevolmente indebolito, ma il ricevitore dello strumento si farà carico per amplificarlo ed inviarlo al sistema di visualizzazione a schermo. Ed è proprio su questo che avviene la “lettura”, che è tanto più fedele, nel senso che appare più nitida, più precisa, con un maggior potere risolutivo espresso su ogni punto tracciato, tanto più è qualitativamente valido e di conseguenza sofisticato l'apparecchio.

In sintesi, il principio resta fondamentalmente quello di ottenere graficamente quello che succede sotto lo scafo della nostra imbarcazione: cosa compare sul fondo e nello strato intermedio d'acqua.

##### **3.1.2.2 PROPAGAZIONE DEL SUONO NELL'ACQUA E POTENZA DI UN ECOSCANDAGLIO**

Il suono si propaga ottimamente nei fluidi, come nel caso dell'acqua, sotto forma di onda sonora. Questa la si ottiene attraverso il nostro strumento che, tramite il trasduttore, produce l'onda sonora, generata da un impulso con un processo di oscillazione, del quale un aspetto rilevante è la frequenza.

Gli ecoscandagli a bassa frequenza lavorano mediamente sui 50kHz, mentre quelli ad alta frequenza sui 200kHz.

L'intensità del suono è strettamente dipendente dalla potenza dello strumento emittente. Questa viene misurata in watt e può essere dichiarata come potenza di picco oppure come potenza al trasduttore.

### **3.1.2.3 LA FREQUENZA DI LAVORO**

La scelta della frequenza di funzionamento dipende dall'uso dello strumento, nel senso che in funzione di una determinata pratica di pesca, è necessaria una certa lettura più o meno delimitata della porzione del fondo interessato.

Dunque, se nella pesca vogliamo ricercare uno scoglio piccolo, una fossata stretta, opteremo per una sonda o trasduttore ad alta frequenza da 200 kHz con un angolo di ricerca da 8° a 20°. Se invece la porzione di fondo da leggere, per le nostre esigenze di traina, deve essere estesa, opteremo per un trasduttore a bassa frequenza da 50 kHz con un cono ad angolazione di 45°.

Il suono si propaga nell'acqua sotto forma di onda sonora alla velocità di circa 1.500 metri al secondo (molto maggiore rispetto a nell'aria poiché la velocità aumenta con la densità del materiale), la sua frequenza e la velocità di propagazione ne determinano la lunghezza d'onda. Un ultrasuono che ha una frequenza di 50 kHz ha in acqua, una lunghezza maggiore rispetto ad uno con frequenza di 200kHz.

Questi valori sensibilizzano la risoluzione, che è in sostanza l'elemento primario con capacità di separare i bersagli l'uno vicino all'altro.

Per ottenere una migliore risoluzione dei bersagli converrebbe optare per un'alta frequenza di lavoro, ossia per 200 kHz. Tuttavia, anche per l'alta frequenza esiste un rovescio della medaglia: un minore potere penetrativo del fascio di ultrasuoni, tempi di emissione decisamente più lunghi rispetto alle basse frequenze e di conseguenza, in certi casi, una discreta perdita del potere risolutivo.

### **3.1.2.4 IL POSIZIONAMENTO DEL TRASDUTTORE SULLO SCAFO**

Al momento di montare il trasduttore sul fondo, per ottenere un miglior passaggio degli ultrasuoni, sarebbe opportuno forare lo scafo nella zona centro-poppa e sistemare il trasduttore all'esterno, a diretto contatto con l'acqua.

### **3.1.2.5 LETTURA DEL MONITOR**

Una volta attivato l'ecoscandaglio e via via che si prende il largo, sul monitor apparirà una linea che naturalmente scenderà per evidenziarci la cosiddetta "chigliata" che sta digradando verso il fondale; ad ogni punto registrato che comparirà dalla parte destra dello schermo corrisponderà un valore numerico espresso in piedi o in metri, attraverso il quale verificheremo costantemente le varie profondità.

Se ad un certo punto si ha «impennata» grafica l'ultrasuono rimbalzerà su una secca, su una scogliera rocciosa, su un relitto, ecc. Il tracciato sarà tanto più marcato tanto più l'eco rivelerà la solidità del bersaglio; e addirittura, sotto il grafico che visualizza il fondo, verrà riprodotta una doppia o una tripla eco; questo effetto lo otteniamo agendo sull'incremento di potenza che regola l'emissione del suono.

Passando sopra un banco di pesci, i segnali sullo schermo ci evidenzieranno alcune aggregazioni, come delle macchie puntiformi, che saranno tanto più dense e scure tanto più è grosso il banco di pesci rilevato.

Se la natura del fondale su cui noi stiamo scandagliando è di tipo fangoso, noteremo che l'eco sullo schermo apparirà più debole. Il segnale sarà maggiormente assorbito dal fondo e di conseguenza meno riflesso. A questo punto occorrerà incrementare ancora il guadagno per ottenere, se ce ne sono, i dettagli desiderati.

## **3.2 ECOSCANDAGLI PER FACTORY TRAWLER**

### **3.2.1 INTRODUZIONE**

Nella scelta dell'apparecchiatura da montare a bordo nave si sono presi in considerazione in particolar modo due strumenti:

- Simrad (SX80 o SX90)
- Furuno (250 o 270)

La scelta di quale montare a bordo verrà fatta in seguito, ma essendo comunque simili sia in dimensioni che funzionamento, questo non sarà un aspetto così determinante.

Nelle prossime pagine è stato descritto in dettaglio il Furuno 250 essendo in possesso di una maggiore documentazione di tale apparato.

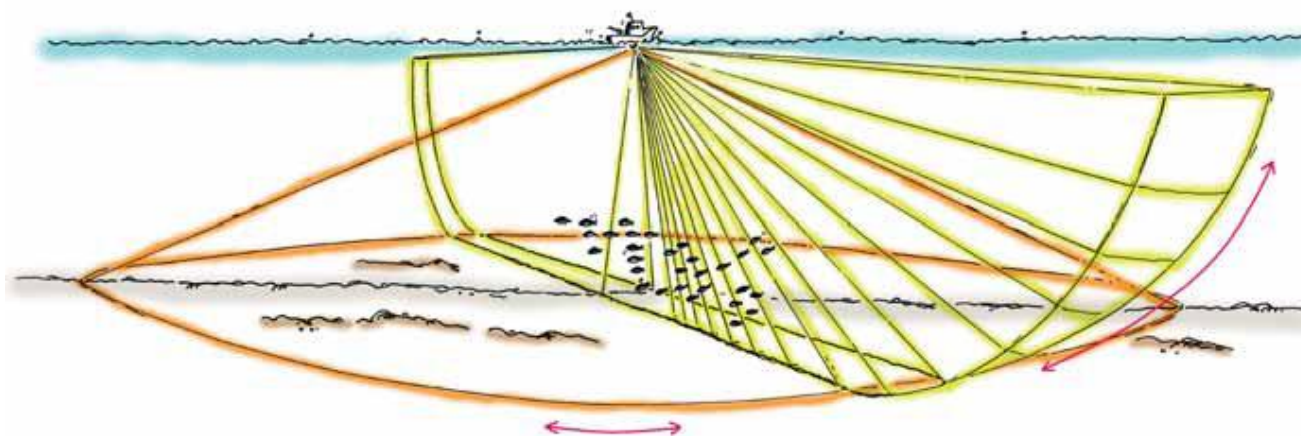
### **3.2.2 ECOSCANDAGLIO FURUNO 250**

Questo sonar per la rilevazione di banchi di pesce può funzionare ad una frequenza selezionabile tra 60, 88 o 150 kHz.

Attraverso i trasduttori collegati sul fondo nave vengono trasmessi impulsi ed elaborati in segnali che saranno poi mandati a dei display a colori evidenziando la presenza di banchi di pesce.

Questo dispositivo è dotato di diverse modalità di scansione: Full Circle o half circle (consente l'identificazione di banchi di pesci attorno la nave), zoom , scansione verticale (attraverso delle specifiche fornite dall'utente viene fornito il profilo del fondo in un piano verticale), combinazione Full Circle e verticale (usata per facilitare l'identificazione di banchi di pesci in piani orizzontali e verticali).

Lo strumento fornisce inoltre una modalità di aggancio all'obbiettivo, questa può essere perfezionata collegando, attraverso l'ingresso predisposto, lo strumento al DGPS.



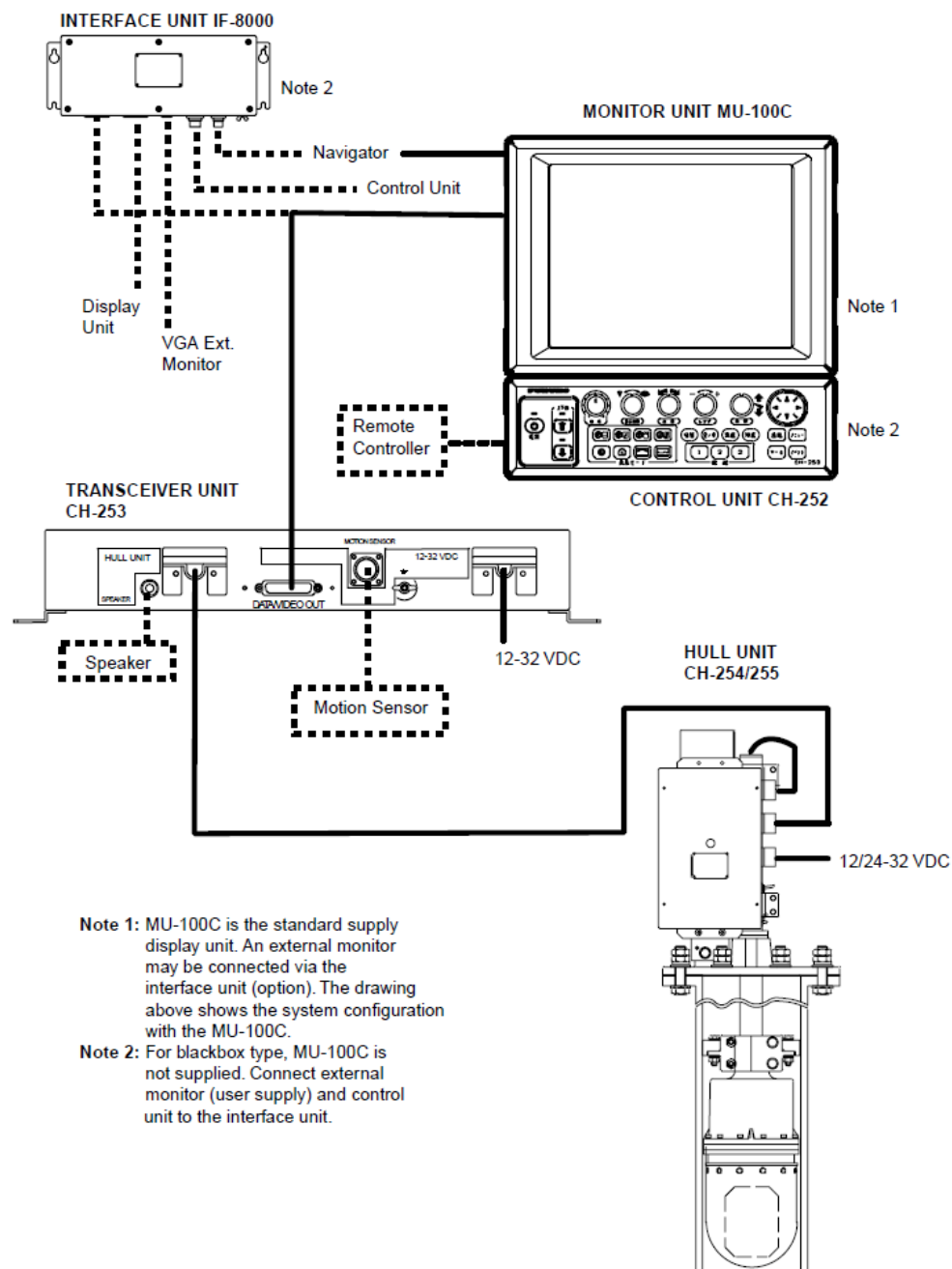
*(fig. 3.2.2.1) ESEMPIO DI SCANSIONE DEL FONDALE*

### 3.2.3 INSTALLAZIONE DELLE UNITÀ

I componenti fondamentali (vedi figura 3.2.3.1) sono:

- 1) Monitor con unità di controllo
- 2) Interfaccia monitor con unità ricetrasmittente
- 3) Unità ricetrasmittente
- 4) Unità di fondo (con trasduttori)

## SYSTEM CONFIGURATION



(fig. 3.2.3.1) CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA

Come si nota dallo schema di collegamento (fig. 3.2.3.1), l'unità di controllo può essere installata assieme all'unità monitor oppure in modo indipendente (solitamente in plancia). Il monitor viene collocato distante dalla luce diretta mentre l'unità di controllo va montata in un luogo dove comunque possano essere visibili i display.

Importante notare che nel caso in cui nelle vicinanze di tale unità vi sia la presenza di una bussola magnetica questa dovrà essere almeno ad una distanza di 0,8m per non interferire nel suo corretto funzionamento.

L'unità ricetrasmittente invece deve essere montata in un luogo ben ventilato ed asciutto, può essere installata su una paratia o un ponte, rispettando comunque i vincoli delle lunghezze massime dei cavi per non incorrere a mal funzionamenti del sistema.

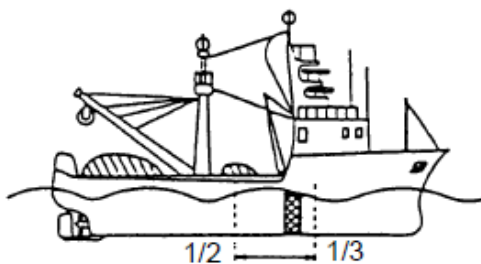
La lunghezza massima del cavo tra unità ricetrasmittente e il monitor è di 10m mentre quella con il trasduttore collegato al fondo è di 50m.

L'unità di fondo (hull unit) deve essere installata in una zona dello scafo in cui siano minimi i disturbi dovuti dalle bolle d'aria che potrebbero influire sulle prestazioni.

Il dispositivo non può essere acceso al di fuori dell'acqua per non danneggiarlo.

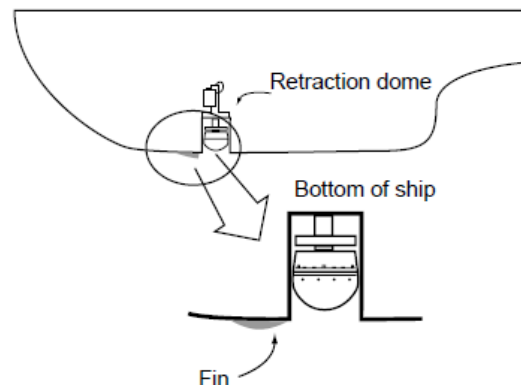
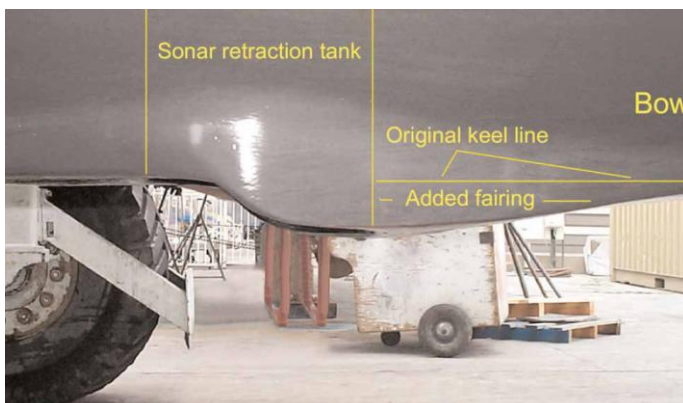
La posizione sullo scafo è in genere decisa a priori in fase di progetto, di norma però è consigliata l'installazione in una zona distante dalle eliche per ridurre il fenomeno delle bolle d'aria, solitamente in un punto compreso tra 1/3 e 1/2 della lunghezza della nave dalla prua (fig. 3.2.3.2), preferibilmente nella chiglia o in una zona in cui sia minima la risonanza e in cui non vi siano ostacoli (zone d'ombra).

Nel caso di più sensori posizionati sul fondo è necessario assicurarsi che siano tra loro ad una distanza minima di 2,5m.



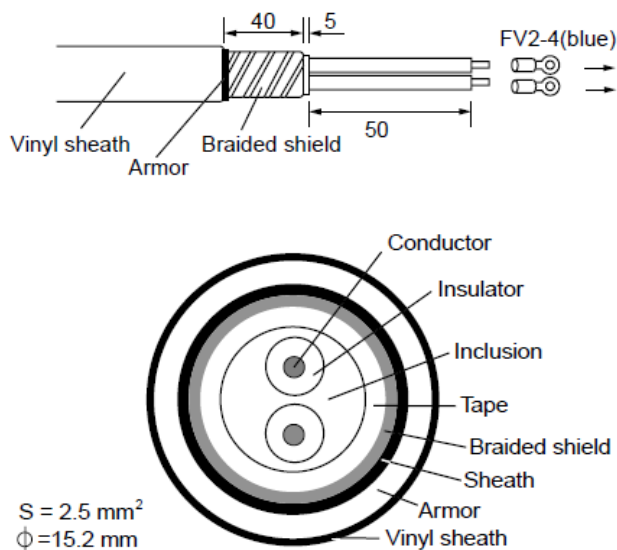
In genere per ottimizzare le prestazioni del dispositivo l'unità di fondo viene installata con un'inclinazione di 2° rispetto il fondo stesso della nave e viene costruita una pinna, come mostrato nelle figura sottostante, per ridurre notevolmente il fenomeno della cavitazione (fig. 3.2.3.3).

(fig. 3.2.3.2) POSIZIONAMENTO TRASDUTTORE SUL FONDO NAVE



(fig. 3.2.3.3) PINNA PER RIDURRE LE TURBOLENZE

### 3.2.4 CABLAGGI



(fig. 3.2.4.1) CAVO ALIMENTAZIONE FURUNO 250

I cavi usati devono essere tutti cavi schermati (in figura 3.2.4.1 esempio cavo di alimentazione) per ridurre al minimo le interferenze che potrebbero influenzare negativamente nel funzionamento del sistema.

La schermatura funge da “gabbia di Faraday” (sistema costituito da un contenitore in materiale conduttore in grado di isolare l’ambiente interno da un qualsiasi campo elettrostatico presente all’esterno) riducendo così il rumore elettrico e le radiazioni elettromagnetiche che potrebbero alterare il segnale utile. Lo scudo inoltre minimizza l’accoppiamento capacitivo con

rumori provenienti da fonti esterne.

Questo risulta molto importante al fine del corretto funzionamento del sistema; potrebbe succedere che un apparato perfettamente progettato dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica non superi, una volta montato, le prove di qualifica EMC perché i cavi non sono schermati e si manifestano nelle connessioni elettriche i seguenti problemi:

- emissioni irradiate dai cavi, che funzionano come antenne trasmettenti
- suscettibilità irradiata dei cavi, che funzionano come antenne riceventi
- accoppiamento elettrico / magnetico (E / H) tra cavi

Nel controllo delle emissioni interferenti interviene il principio di reciprocità, ovvero quello che è fatto ad un cavo per ridurre le emissioni irradiate è valido anche per incrementare la sua protezione nei confronti della suscettibilità irradiata.

Per quanto riguarda gli schermi dei cavi, deve essere ricordato che la loro qualità dipende non solo dal valore delle efficienze di schermatura della calza del cavo, ma anche dal modo con il quale gli schermi sono terminati sui contenitori degli apparati. Sotto questo punto di vista della terminazioni degli schermi, intervengono fortemente i connettori, i quali costituiscono un indispensabile mezzo di connessione tra cavi e apparati.

Lo schermo di un cavo può essere costituito da un film sottile di alluminio, un foglio o substrato di mylar, una calza di rame, un foglio di metallo attorcigliato, un tubo corrugato. Tutti questi materiali e tecnologie hanno proprietà schermanti di base che dipendono da due meccanismi :

- di riflessione
- di assorbimento

La riflessione è un fenomeno irradiato ed è il risultato di un disadattamento tra l'impedenza dell'onda esterna disturbante e l'impedenza della barriera schermante.

L'assorbimento dipende dall'effetto di penetrazione (skin effect). Per frequenze sufficientemente alte, lo skin effect diventa preponderante, per cui l'assorbimento diventa significativo.

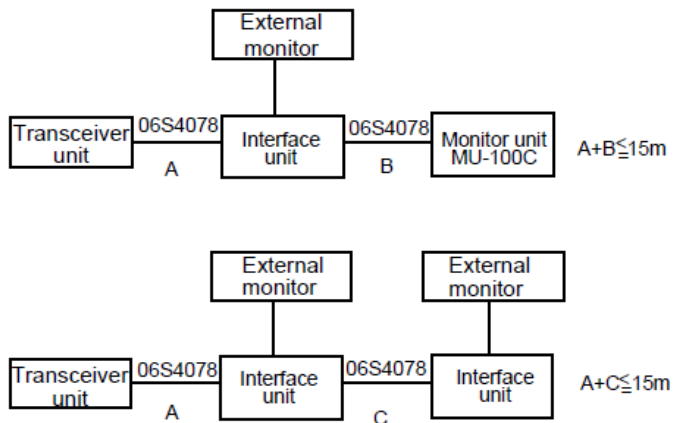
Se lo schermo fosse un tubo solido, il fenomeno di assorbimento si incrementerebbe esponenzialmente.

Se lo schermo è una calza, tutte le minuscole aperture a forma rombica dovute alla struttura geometrica dei sottilissimi fili di rame costituenti la calza annulleranno l'effetto di assorbimento, rendendo lo schermo

sempre più trasparente all'aumentare della frequenza. In funzione della tecnica adottata per la copertura ottica della calza, questo effetto dovuto alle aperture rombiche può intervenire anche a partire già da circa 1 - 10 MHz, deteriorando significativamente l'efficienza di schermatura (SE) della calza.

I costruttori dei vari dispositivi spesso forniscono informazioni dettagliate sulla tipologie di cavi da utilizzare nonché sulla loro massima lunghezza provvedendo spesso a fornire cavi appositamente progettati.

Per esempio per l'ecoscandaglio preso in esame vengono posti dei vincoli riguardanti le lunghezze massime e la tipologia dei cavi da utilizzare, ma in fase di ordine è data la possibilità di scelta della lunghezza a noi più opportuna mediante l'ausilio di specifici kit di montaggio.



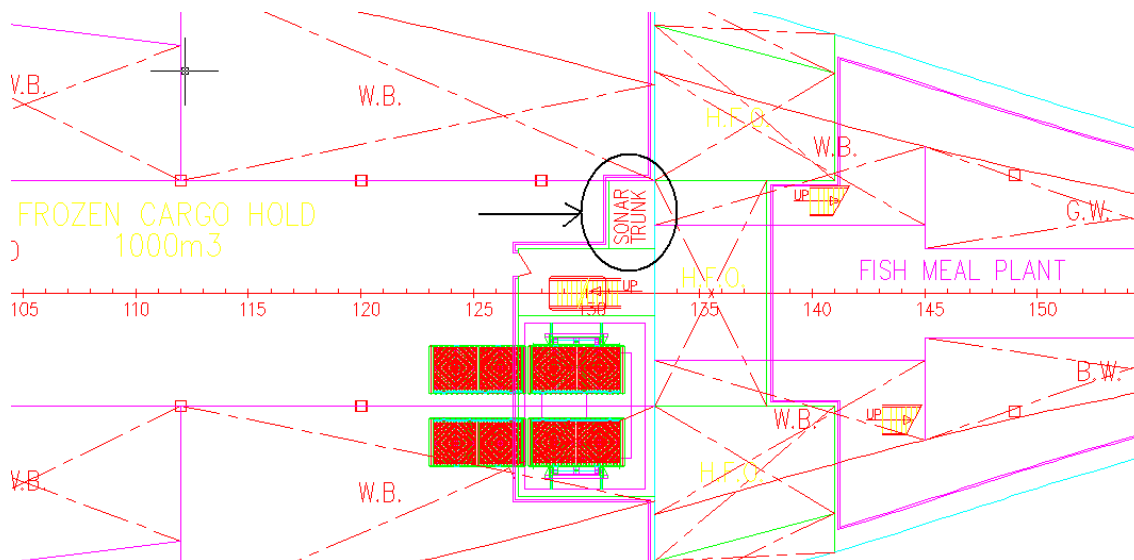
*(fig. 3.2.4.2) ESEMPIO LUNGHEZZE DEI COLLEGAMENTI TRA UNITÀ DA DATASHEET FURUNO 250*

### 3.3 TRASDUTTORE DELL'UNITÀ DI FONDO:

#### 3.3.1 INTRODUZIONE

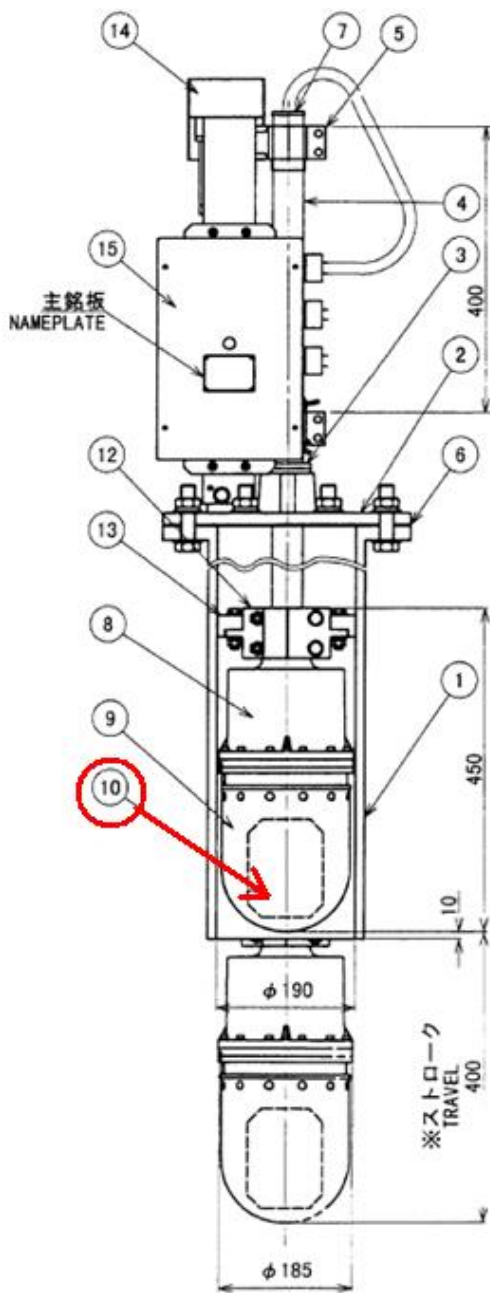
Uno studio più approfondito viene fatto per l'unità di fondo poiché presenta alcuni componenti di interesse (fig 3.3.1.2).

Come si nota nella figura 3.3.1.1, la posizione delle unità di fondo saranno perpendicolari al locale "sonar trunk"; in questo saranno installati tutti i componenti e collegamenti tra unità fondo e interfacce utente.



*(fig.3.3.1.1) PROGETTO CAD DEL PIANO GENERALE FACTORY TRAWLER: EVIDENZIATO LOCALE SONAR*





15	上下動制御箱 HULL UNIT CONTROL BOX		1
14	ギヤカバー GEAR COVER	SUS304	1
13	タンクガイド (2) TANK GUIDE (2)	POM	2
12	タンクガイド (1) TANK GUIDE (1)	FRP	2
11	ジュビリークリップ HOSE CLAMP	SUS304	1
10	送受波器 TRANSDUCER		1
9	ドーム (2) SOUNDOME		1
8	ドーム (1) TOP HOUSING	BC2	1
7	パイプキャップ PIPE CAP	CR	1
6	フランジパッキン GASKET	CR	1
5	スライド金具 SHAFT RETAINER	BC6	1
4	上下シャフト MAIN SHAFT	SUS304	1
3	グリスコットン押え台 GREASE COTTON RETAINER	BC2	1
2	架台載台 SHAFT SLEEVE	FC200	1
1	格納タンク RETRACTION TANK		1

(FIG. 3.3.1.2) COMPONENTI DELL'UNITÀ DI FONDO (DA DATASHEET FURUNO 250)

### 3.3.2 FUNZIONAMENTO DEL TRASDUTTORE

Tra i vari componenti presenti nell'unità di fondo si è preso in analisi il trasduttore.

Il compito fondamentale di questo componente è quello di convertire un impulso elettrico in un'onda sonora che verrà trasmessa in acqua, analogamente il trasduttore di ricezione: l'onda sonora di ritorno lo colpisce, ne rileva l'intensità riconvertendola poi in un impulso elettrico che opportunamente elaborato verrà mandato a display.

Sappiamo che la velocità del suono in acqua è pressoché costante e pari a circa 1500m/s perciò il lasso di tempo tra il segnale trasmesso e l'eco ricevuto può essere misurato e si può determinare così la distanza dell'oggetto. Questo processo si ripete per molte volte al secondo permettendo così di tracciare a display linee continue e, grazie agli echi di ritorno, di visualizzare qualsiasi oggetto in acqua posizionato tra fondo e superficie.

Le caratteristiche base del trasduttore devono essere:

- a) Elevata potenza del trasmettitore
- b) Trasduzione efficiente
- c) Sensibilità da parte del ricevitore

Il sistema deve essere progettato per lavorare in qualsiasi condizione meteo ed a temperature estreme.

L'alta potenza del trasmettitore aumenta la probabilità di ottenere un ritorno in acque profonde e consente di visualizzare in dettaglio gli oggetti, o pesci, colpiti dalle onde sonore.

Il trasduttore non deve solo essere in grado di sopportare l'elevata potenza in trasmissione ma la parte ricevente deve convertire l'energia elettrica in energia sonora con poca perdita di potenza del segnale e deve essere in grado di rilevare il più piccolo degli echi di ritorno.

### 3.3.3 FREQUENZE OPERATIVE

Le frequenze che spesso utilizzano questi trasduttori sono 192kHz , 200kHz ed alcune volte 50kHz; da notare che l'emissione di onde sonore a questi valori non sono udibili né per gli esseri umani né per i pesci. La scelta della corretta frequenza viene fatta in base alla specifica applicazione.

192kHz o 200kHz dà una maggiore definizione degli obiettivi da visualizzare ma risulta efficiente in acque non molto profonde e con uno stretto angolo di ricerca. Una frequenza di 50kHz ha una maggiore capacità penetrativa così risulta preferibile in acque alte, inoltre con 50kHz siamo in grado di coprire un angolo di ricerca maggiore, come contro però si ha una minore definizione degli oggetti e una maggiore quantità di rumore.

### 3.3.4 ELEMENTO ATTIVO DEL TRASDUTTORE

In genere l'elemento attivo del trasduttore è un cristallo artificiale (LEAD ZIRCONATE OR BARIUM TITANATE). Le sostanze chimiche che lo comporranno vengono fuse e viene dato al cristallo una forma ben determinata. Una volta raffreddato viene applicato un rivestimento conduttivo alle due facce e in seguito saldati i fili per il collegamento.

La forma del cristallo è importante poiché essa determina la frequenza di funzionamento del dispositivo e l'angolo di copertura.

Per cristalli circolari, usati nella maggior parte dei sonar, lo spessore determina la frequenza operativa mentre il diametro ne determina l'angolo di copertura: per esempio un cristallo a 192kHz di diametro di un pollice (2,5cm circa) ha un raggio di copertura di 20°, mentre un diametro di circa 2 pollici ha un angolo di copertura di 8°.

Da ciò capiamo che un maggiore diametro del cristallo determina un minor angolo di copertura .

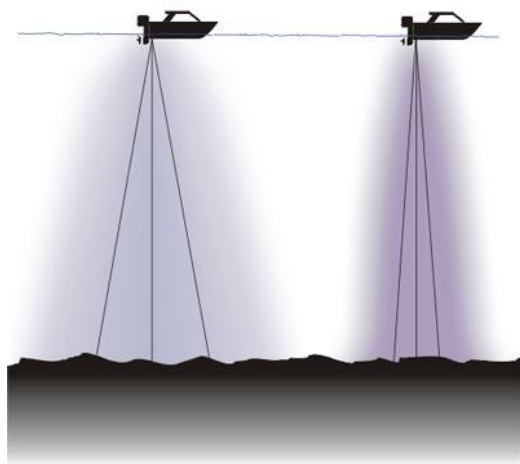
In genere il case del cristallo è realizzato in plastica e solo in alcuni casi in bronzo; la sezione del case è legata al diametro del cristallo.

### 3.3.5 PROBLEMA DELLA CAVITAZIONE

La cavitazione è il fenomeno che può determinare il malfunzionamento del trasduttore: questo problema è dovuto al fatto che il flusso d'acqua a ridosso del dispositivo viene interrotto dal dispositivo stesso creandosi una zona in cui vi è la presenza di bolle d'acqua (fenomeno più marcato ad una velocità di navigazione maggiore); se queste bolle vanno a coprire la faccia del trasduttore, a display verrà visualizzato una sorta di segnale di "rumore" e poiché le onde sonore si riflettono sulle bolle d'aria, che sono molto vicine alla faccia del cristallo dando origine a segnali molto forti e rendendo così i segnali più deboli praticamente invisibili.

### 3.3.6 ANGOLO DI CONO

Il trasduttore concentra il suono in un fascio, quando un impulso viene trasmesso, questo si estende in una superficie più ampia: esso si propaga creando un motivo di forma conica. Il suono risulta avere un'intensità maggiore lungo l'asse centrale del cono e diminuisce gradualmente man mano che ci si allontana dal centro



(figura 3.3.6.1).

Per misurare l'angolo del cono si misura inizialmente il potere dell'onda lungo l'asse e la si compara con il potere misurato man mano che ci si allontana dal centro. L'intensità si riduce man mano che ci si allontana e nel punto in cui essa si dimezza (-3dB), si misura l'angolo rispetto l'asse e questo corrisponde all'angolo del cono (e quindi del trasduttore).

È possibile comunque rilevare oggetti o pesci anche al di fuori dell'angolo di cono.

Con un dispositivo con un angolo di 20° si riesce ad ottenere un angolo di rilevamento del pesce anche di 60°.

*fig 3.3.6.1*

ANGOLO DI CONO DI 20°

ANGOLO DI CONO DI 8°

### 3.3.7 SPECIFICHE FURUNO 250

- 2. **Display Unit** 10.4" TFT color LCD (VGA: 640 x 480 pixels)
- 3. **Color** 8 or 16 colors
- 4. **Display Mode**
  - (1) Full Circle scan (2) Zoom (x 1.5) (3) Vertical scan
  - (4) Vertical Sounder (5) Full/Half Circle and Vertical scan
  - (6) Full Circle and History (7) Full Circle and Strata
  - (8) Full Circle and VideoPlotter
- 5. **Audio Monitor** 1000 Hz
- 6. **TX Output Power** 0.8-1.2 kW
- 7. **Beamwidth (at -3 dB)**
  - 60 kHz: 15° (H) x 12° (V)
  - 88 kHz: 11.5° (H) x 9.5° (V)
  - 150 kHz: 6.5° (H) x 6.5° (V)
- 8. **Transducer Control**
  - Tilt 0° to -180° at 3° or 6° steps (in vertical scan)
  - +5° to -90° at 1° steps (in full circle scan)

*(fig. 3.3.7.1) dati relativi FURUNO 250  
da datasheet*

Nel **punto 6 (fig. 3.3.7.1)** viene specificata la potenza di trasmissione del nostro trasduttore che va da 800W fino ad un massimo di 1200W, corrisponde alla massima potenza che può avere l'impulso in trasmissione.

Nel **punto 7 (fig. 3.3.7.1)** viene descritto l'angolo di cono alle varie frequenze: a 60kHz otteniamo un angolo di 15° (in orizzontale) e 12° (in verticale), a 88kHz un angolo di 11,5° (in orizzontale) e 9,5° (in verticale), a 150kHz un angolo di 6,5° (in orizzontale) e 6,5° (in verticale).

Nel **punto 8 (fig 3.3.7.1)** vengono descritte le angolazioni di rilievo nelle varie modalità di scansione.

# **CAP.4 ANALISI DI PROBLEMI DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI E SOLUZIONI PER LA PREVENZIONE**

## **4.1 COMPATIBILITÀ ELETTRONICA**

### **4.1.1 INTRODUZIONE ALLA COMPATIBILITÀ ELETTRONICA**

L'uso sempre più diffuso di componentistica e di strumentazione elettronica e l'impiego di apparati di segnale affiancati a sistemi di potenza, ha fatto sorgere in questi ultimi anni diversi problemi riguardanti più discipline nei settori dell'ingegneria industriale, elettrica ed elettronica considerati fin prima discipline a se stanti.

Ogni apparecchiatura elettrica – elettronica deve essere considerata capace di emettere (in modo più o meno rilevante) radiazioni elettromagnetiche che possono colpire altre apparecchiature e allo stesso modo può essere soggetta alle radiazioni presenti nell'ambiente in cui è installata.

Con il termine Compatibilità Elettromagnetica (EMC: *Electromagnetic Compatibility*) si intende l'attitudine di un apparato o di un sistema a funzionare correttamente, in un determinato ambiente, senza essere soggetto ad anomalie o guasti causati da radiazioni elettromagnetiche presenti nell'ambiente considerato e senza produrre, a sua volta, radiazioni pericolose per altri apparati o sistemi presenti nello stesso ambiente. Un problema di compatibilità elettromagnetica è un problema di compatibilità ambientale di un apparato o di un sistema rispetto al livello dei disturbi o rispetto al grado di sensibilità ai disturbi di altri apparati o sistemi presenti nello stesso ambiente.

La compatibilità elettromagnetica può essere quindi vista come un particolare caso di inquinamento ambientale, ma in questo caso gli "agenti inquinanti" sono onde elettromagnetiche.

L'evoluzione tecnica ha portato ad apparati sempre più delicati (dispositivi di controllo, sensori, ecc.) che funzionano sempre più vicino ad installazioni elettromeccaniche di potenza e di conseguenza alle relative emissioni.

Lo sviluppo di componentistica elettronica di potenza ha visto il sistema elettromeccanico nella condizione di essere soggetto a nuovi disturbi.

Fino a pochi anni fa, in mancanza di regolamentazione, l'attenzione è stata riservata solamente agli aspetti di immunità, puntando all'unico obiettivo di "sopravvivenza" del dispositivo, senza preoccuparsi delle problematiche legate all'emissione, mentre solo in tempi molto recenti l'interesse nella progettazione si è concentrato anche sugli aspetti relativi all'emissione, anche come conseguenza di nuovi regolamenti legislativi per la tutela degli utenti/consumatori che si trovano in ambienti sempre più elettromagneticamente inquinati.

## 4.1.2 EMC: concetti generali e definizioni

In tutti i dispositivi elettrici ed elettronici circolano correnti di intensità variabile che producono, intenzionalmente o no, onde elettromagnetiche (EM).

Queste onde EM possono a loro volta essere ricevute, intenzionalmente o no, da altri apparati elettrici/elettronici causandone un malfunzionamento.

La EMC si occupa problemi di natura elettromagnetica che inevitabilmente esistono tra gli apparati elettrici/elettronici e l'ambiente in cui si trovano; in particolare studia il livello dei disturbi emessi da un apparato che possono degradare le prestazioni di altri sistemi operanti nello stesso ambiente (EMISSIONE) e nel caso di disturbi EM esterni, la capacità di conservare le prestazioni operative previste (IMMUNITA' o SUSCETTIBILITA').

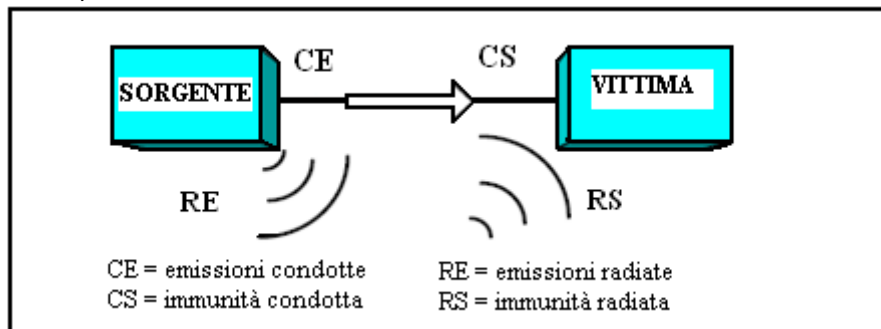
Un sistema si dice elettromagneticamente compatibile con l'ambiente in cui opera se è in grado di funzionare correttamente e compatibilmente con la presenza di altri sistemi e allo stesso tempo non deve né produrre né essere suscettibile a fenomeni di interferenza.

Deve perciò soddisfare i seguenti requisiti:

- non causare interferenze con altri sistemi;
- non essere suscettibile alle emissioni elettromagnetiche degli altri sistemi;
- non causare interferenza verso se stesso.

I principali soggetti nello studio EMC sono tre: sorgente, vittima e percorso di accoppiamento.

La sorgente è l'apparato che genera il disturbo EM, mentre la vittima è l'apparato che "subisce" il disturbo EM (vedi figura 4.1.2.1).



(fig. 4.1.2.1) SOGGETTI NELLO STUDIO DELLA COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

Le sorgenti possono essere classificate in naturali (fulmini, scariche elettrostatiche e sorgenti cosmiche) ed artificiali; a sua volta quelle artificiali possono essere suddivise in intenzionali e non intenzionali.

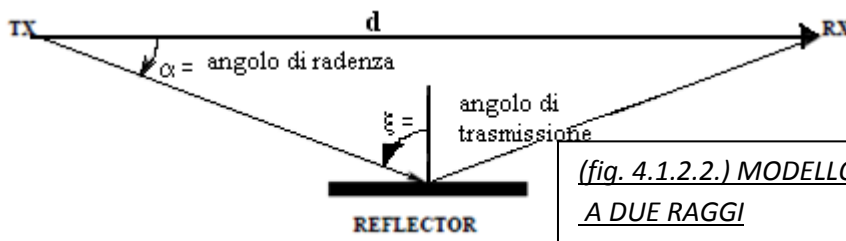
Si parla di emettitore intenzionale se è specificatamente progettato per emettere radiazioni allo scopo di svolgere una determinata funzione (ad esempio un telefono cellulare, un'antenna o un trasmettitore radio o televisivo) mentre si parla di radiatore non intenzionale se le emissioni non sono legate alle funzioni che il dispositivo deve svolgere, ma sono una conseguenza, indesiderata, del funzionamento stesso (ad esempio le radiazioni emesse da un computer o da un monitor, da una scheda elettronica o da un qualsiasi circuito elettrico percorso da correnti variabili).

Riguardo al ricevitore possiamo fare delle distinzioni a seconda degli effetti che la radiazione elettromagnetica provoca su di esso: se la radiazione ricevuta genera un comportamento desiderato si parla di "segnale utile" (ricevitore intenzionale); se la radiazione ricevuta genera invece un malfunzionamento, siamo in presenza di un segnale di disturbo (ricevitore non intenzionale) e siamo così nel caso di Interferenza Elettromagnetica (EMI: *Electromagnetic Interference*).

Da notare che i radiatori (emettitori) e i ricevitori intenzionali possono emettere o ricevere radiazioni elettromagnetiche in bande di frequenza diverse da quelle tipiche del loro normale funzionamento; anche per essi quindi deve essere verificata la compatibilità elettromagnetica.

Vengono riportare alcune terminologie ricorrenti nello studio di problemi EMI/EMC come:

- **Ambiente elettromagnetico:** è l'insieme dei fenomeni elettromagnetici che esercitano un'influenza sull'ambiente fisico in considerazione;
- **Apparato sorgente:** è l'apparato che genera il disturbo;
- **Apparato vittima:** è l'apparato che subisce il disturbo;
- **Compatibilità Elettromagnetica:** è la capacità di un'apparecchiatura di funzionare in modo soddisfacente nel suo tipico ambiente elettromagnetico senza, in ogni caso, introdurre disturbi intollerabili;
- **E.U.T.(Equipment Under Test):** l'apparecchiatura in test;
- **Interferenza elettromagnetica:** si indica anche con il termine EMI (ElectroMagnetic Interference) e costituisce la degradazione delle prestazioni di un'apparecchiatura o di un canale di trasmissione causata da un disturbo di tipo elettromagnetico;
- **Suscettibilità:** tale termine indica il livello di sensibilità di un dispositivo a radiazioni elettromagnetiche esterne; una prova di suscettibilità è tesa all'individuazione del livello di disturbo che riesce a far entrare in crisi l'apparato.
- **Modello a due raggi:** si considera una superficie abbastanza piana di materiale conduttore



(riflettente) nelle quale entra in gioco il fenomeno di propagazione dell'onda elettromagnetica da una sorgente all'antenna ricevente. Attraverso questo

modello è possibile calcolare il campo ricevuto dall'antenna ricevente in base alla somma dei contributi del raggio diretto e del raggio riflesso  $\vec{E} = \vec{E}_d + \vec{E}_r$  (r= riflesso, i= incidente, d=diretto). Nel caso in cui il piano riflettente sia un conduttore ideale, tutta l'energia incidente sarà riflessa; si potrebbe scrivere  $E_r = \rho E_i$  in cui  $\rho$  rappresenta il coefficiente di riflessione ed esprime il rapporto fra il campo riflesso ed il campo incidente la superficie: dovremo considerare l'attenuazione introdotta dalla non perfetta conducibilità del piano riflettente (figura 4.1.2.2).

Il modello a due raggi viene utilizzato anche nelle misure di EMC, in cui vi è l'esigenza di una perfetta riproducibilità delle misure effettuate in qualsiasi laboratorio.

- **Campo vicino e campo lontano (caso dipolo Hertziano):** i campi possono essere considerati delle funzioni della distanza elettrica dell'antenna. L'interesse principale è rivolto ai campi lontani, associati a punti di osservazione sufficientemente distanti dall'antenna, poiché le relazioni che descrivono i fenomeni elettromagnetici si semplificano notevolmente. Le componenti del vettore di campo magnetico ed elettrico sono funzioni di  $1/r$ ,  $1/r^2$  e  $1/r^3$  (con  $r$  = distanza dall'origine del campo). Se siamo in piccole distanze i termini  $1/r^2$  e  $1/r^3$  prevalgono mentre man mano che ci si allontana comincia ad essere sempre più significativo il termine  $1/r$  potendo così trascurare  $1/r^2$  e  $1/r^3$ . Ci si chiede ora quale sia il confine tra campo vicino e lontano. Nel caso di dipolo Hertziano ciò avviene quando  $r = \lambda_0 / 2\pi$ . In generale invece si considera il limite tra distante e vicino come il massimo tra  $3\lambda_0$  e  $2D^2/\lambda_0$  con  $D$  = dimensione massima dell'antenna; ma questa distanza non rappresenta una precisa linea di demarcazione. Si ricorda che un dipolo Hertziano è un punto di dipolo di lunghezza infinitesima e con una distribuzione di corrente uniforme in tutti i punti dell'elemento stesso ed in questo caso le componenti del vettore di campo magnetico diventano :

$$\begin{aligned} \hat{H}_r &= 0 \\ \hat{H}_\theta &= 0 \\ \hat{H}_\phi &= \frac{I \, dl}{4\pi} \beta_0^2 \sin\theta \left( \frac{j}{\beta_0 r} + \frac{1}{\beta_0^2 r^2} \right) e^{-j\beta_0 r} \end{aligned}$$

Mentre quelle di campo elettrico:

$$\begin{aligned} \hat{E}_r &= 2 \frac{I \, dl}{4\pi} \eta_0 \beta_0^2 \cos\theta \left( \frac{1}{\beta_0^2 r^2} - \frac{j}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{-j\beta_0 r} \\ \hat{E}_\theta &= \frac{I \, dl}{4\pi} \eta_0 \beta_0^2 \sin\theta \left( \frac{j}{\beta_0 r} + \frac{1}{\beta_0^2 r^2} - \frac{j}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{-j\beta_0 r} \\ \hat{E}_\phi &= 0 \end{aligned}$$

Con  $\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$  impedenza intrinseca della spazio libero

## 4.2 DISTURBI ELETTROMAGNETICI:

### 4.2.1 INTRODUZIONE DISTURBI CONDOTTI ED IRRADIATI

Le modalità di propagazione dei disturbi EM si distinguono in disturbi condotti e disturbi irradiati, a seconda che il percorso di accoppiamento del disturbo sia costituito da un conduttore o dallo spazio libero.

Con disturbi condotti si intendono tutti i segnali indesiderati presenti sotto forma di tensioni e correnti sui conduttori che entrano ed escono dall'apparato (cavi di alimentazione, cavi di segnale e di comunicazione). Come disturbi irradiati invece si considerano i segnali indesiderati presenti sotto forma di campo elettromagnetico nello spazio circostante.

In realtà, qualunque corrente variabile che circola in un conduttore genera la presenza di un campo EM nello spazio circostante e allo stesso tempo un campo EM induce un segnale elettrico su un conduttore (che funziona da antenna ricevente).

Alle basse frequenze il campo EM risulta confinato attorno alla struttura che lo genera e risulta più facile misurare i disturbi sottoforma di tensioni e correnti (disturbi condotti); ma ad alte frequenze tensioni e correnti perdono di significato ed è più agevole misurare i campi EM.

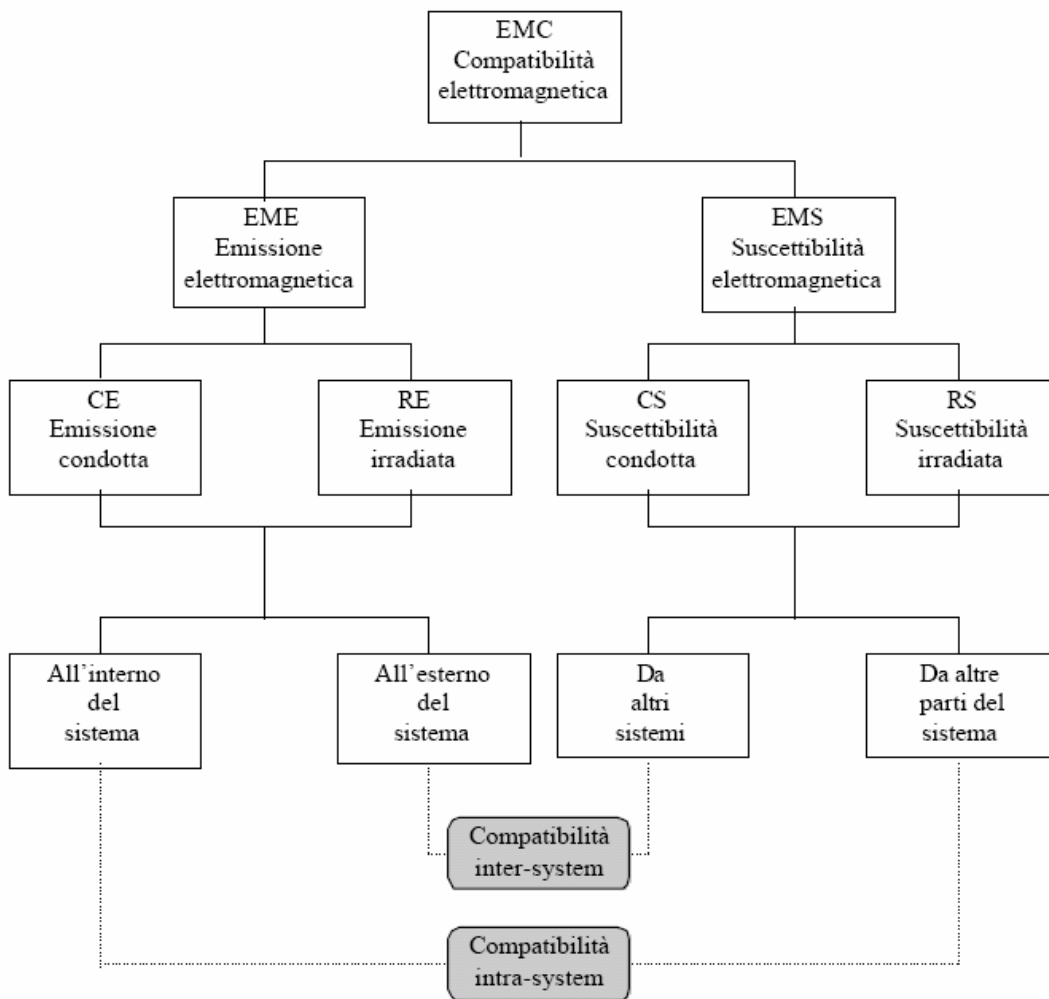
Fenomeni condotti ed irradiati sono quindi molto legati tra loro.

#### **Interferenze elettromagnetiche:**

- **EMI per Onde irradiate:** in questo caso i problemi di interferenza sono legati alla presenza di una "sorgente di interferenza", ossia di un dispositivo in grado di emettere, intenzionalmente o meno, un'onda elettromagnetica che può essere ricevuta da sistemi elettronici che non sono configurati in maniera tale da essere insensibili a tale radiazione.
- **EMI per Conduzione:** in questo caso esiste una connessione fisica, di tipo parassita, tra dispositivi che invece dovrebbero essere elettricamente disgiunti (ossia si crea un percorso di tipo conduttivo parassita tra due dispositivi).
- **EMI per Induzione (diafonia):** in questo caso i problemi di EMI sono legati ad accoppiamento induttivo o capacitivo tra due conduttori, in assenza dunque di una connessione fisica diretta.



Lo schema rappresentato in fig. 4.2.1.1 riassume i problemi di compatibilità elettromagnetica:



(fig. 4.2.1.1) PROBLEMI DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

La prima distinzione viene fatta tra fenomeni di emissione (che riguardano la sorgente EM) e fenomeni di suscettibilità (che interessano la vittima EM) che a sua volta può essere poi suddivisa in base al percorso di accoppiamento (disturbo condotto o irradiato).

Le cause che producono interferenza elettromagnetica possono trovarsi all'interno del sistema (problema interno, *intrasystem problem*), oppure "intersystem" dove l'interferenza può essere prodotta da cause esterne (*intersystem problem*).

Il "sistema", dal punto di vista dell'analisi EMC, è in genere definito come il complesso di dispositivi su cui viene esercitato un controllo in fase di progetto o di gestione.

Una causa molto comune di interferenza interna o esterna al sistema è dovuta ad un segnale che, pur generato appositamente per un determinato circuito, raggiunge anche uno o più circuiti a cui il segnale stesso non era dedicato.

## 4.2.2 ESEMPIO GENERAZIONE DEL DISTURBO

Un tipico sistema elettronico generalmente è costituito da uno o più sottosistemi intercomunicanti per mezzo di cavi (fasci di conduttori).

Per fornire potenza a questi sottosistemi solitamente si utilizza corrente alternata fornita dalla rete commerciale di distribuzione dell'energia.

L'alimentatore di ogni sistema elettronico converte questa tensione sinusoidale di 120V e 60 Hz (240 V e 50 Hz in Europa) nei diversi livelli di tensione continua necessari per l'alimentazione dei componenti interni del sistema elettronico. Per esempio, i circuiti di logica digitale richiedono una tensione di alimentazione di 5 V cc mentre quelli analogici richiedono tensioni di +12 V e -12 V cc. L'alimentazione di altri dispositivi, quali per esempio i motori, impone l'utilizzo di livelli di tensione continua ancora diversi dai precedenti.

La tensione alternata di 120 V e 60 Hz della rete commerciale viene fornita al sistema per mezzo di un cavo di alimentazione. Altri cavi sono poi necessari per interconnettere i diversi sottosistemi in modo da permettere il reciproco scambio dei segnali funzionali.

Tutti questi cavi sono potenzialmente in grado di emettere e/o captare energia elettromagnetica. In generale l'efficienza del fenomeno di emissione oppure di ricezione dell'energia elettromagnetica aumenta con la lunghezza dei cavi. I segnali di interferenza possono anche diffondersi tra i sottosistemi per propagazione diretta lungo i cavi. Se i sottosistemi sono racchiusi da schermi metallici, si generano su di essi correnti indotte dovute sia a segnali interni sia a segnali esterni. Tali correnti possono poi irradiarsi nell'ambiente esterno oppure in quello interno al contenitore metallico.

Ultimamente sta diventando più comune, soprattutto nei sistemi a basso costo, l'utilizzo di contenitori non metallici, in tal caso i dispositivi sono direttamente esposti alle radiazioni elettromagnetiche provenienti dall'ambiente circostante, in cui anch'essi irradiano.

## 4.2.3 DISTURBI IRRADIATI

Qualsiasi circuito elettrico (o in generale un qualsiasi conduttore) percorso da una corrente variabile nel tempo irradia onde elettromagnetiche nello spazio circostante. Un generico filo conduttore di lunghezza  $L$  percorso da una corrente  $I$  variabile nel tempo produce un campo EM proporzionale alla lunghezza  $L$ , alla corrente  $I$  ed alla frequenza caratteristica  $f$  ed inversamente proporzionale alla distanza  $d$  del punto di osservazione.

Se invece si considera una spira di superficie  $S$  percorsa da una corrente  $I$  variabile nel tempo produce un campo EM proporzionale alla superficie  $S$ , alla corrente  $I$  e al quadrato della frequenza  $f$  ed inversamente proporzionale alla distanza  $d$  del punto di osservazione.

L'efficienza di radiazione e di ricezione di campi EM è legato al rapporto tra la grandezza caratteristica del circuito (lunghezza  $L$  per i fili, superficie  $S$  per le spire) e la lunghezza d'onda  $\lambda$ ; questo parametro viene definito dimensione elettrica.

Per avere una prima stima della capacità di un circuito di irradiare e captare onde EM si determina la sua dimensione elettrica e se questa risulta  $< 1/10$  rispetto a quella fisica del circuito allora il circuito si dice elettricamente corto, intendendo con ciò che è poco soggetto ad irradiare e captare onde EM.

Un'onda EM che incide su un circuito elettrico (o su un generico conduttore) genera in esso una corrente variabile nel tempo.

Per i fenomeni EMC vale il principio di reciprocità: se un oggetto è capace di irradiare con efficienza campi EM, allora è anche capace di captare campi EM esterni e viceversa.

Ne consegue che tutte le azioni volte a ridurre l'efficienza della produzione di disturbi EM (problema di emissione) servono anche a ridurre la capacità di "ricevere" campi EM (problema di immunità/suscettibilità).

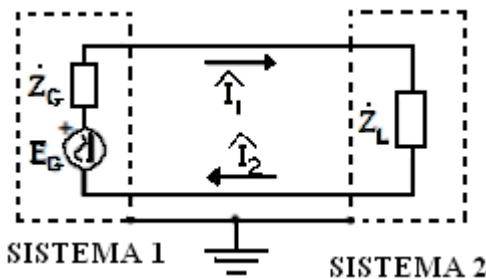
I disturbi irradiati che vengono studiati sono in un range di frequenza tra i 30MHz e 1GHz a cui corrisponde rispettivamente una lunghezza d'onda di 10m e 30cm.

L'apparecchiatura risulta nel campo vicino per le frequenze inferiori e nel campo lontano per quelle superiori.

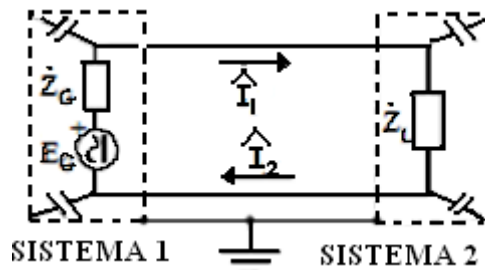
In determinate condizioni, alcune parti o componenti di un sistema si comportano come antenne irradianti, anche se non è questa la loro funzione. Questo fenomeno interessa principalmente i fili, le piste dei circuiti stampati e altre strutture metalliche come gli armadi in cui sono racchiuse le apparecchiature elettroniche. I modelli che si utilizzano per lo studio permettono di comprendere le condizioni in cui il campo irradiato dalle correnti che percorrono i fili e le piste, supera i limiti imposti dalle norme. Per semplificare le relazioni matematiche questi modelli fanno riferimento a condizioni ideali in cui per esempio i cavi sono tra loro isolati, posti nel vuoto e lontani da altri ostacoli.

#### 4.2.3.1 CORRENTI DI MODO DIFFERENZIALE E DI MODO COMUNE (EMISSIONE DISTRUBI)

Rappresenta questo uno dei concetti più importanti nello studio delle emissioni radiate dai dispositivi. Consideriamo due sistemi collegati assieme, ciascuno con un contenitore metallico collegato a terra, come in figura 4.2.3.1a, vale  $\hat{I}_1 = \hat{I}_2$ .



(fig. 4.2.3.1a) CORRENTI IDEALI



(fig. 4.2.3.1b) CORRENTI REALI

Per effetto delle capacità parassite tra ciascun circuito e il contenitore metallico si subiscono delle perdite che provocano una differenza tra le due correnti:  $\hat{I}_1 \neq \hat{I}_2$ . (nota: le capacità sono considerati idealmente come parametri concentrati) come si vede in figura 4.2.3.1b.

Si considera ora una coppia di conduttori paralleli percorsi rispettivamente dalle correnti  $\hat{I}_1$  e  $\hat{I}_2$ . Ogni corrente può essere scomposta in due componenti  $\hat{I}_C$  e  $\hat{I}_D$ : corrente di modo comune e corrente di modo differenziale (vedi relazione 4.2.3.2):

$$\begin{aligned} \hat{I}_1 &= \hat{I}_C + \hat{I}_D \\ \hat{I}_2 &= \hat{I}_C - \hat{I}_D \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \hat{I}_D = (\hat{I}_1 - \hat{I}_2)/2 \quad \text{e} \quad \hat{I}_C = (\hat{I}_1 + \hat{I}_2)/2 \quad \text{(relazione 4.2.3.2)}$$

Le correnti di modo differenziale sono uguali in valore assoluto ma hanno verso opposto lungo i due fili. Queste rappresentano le correnti che idealmente dovrebbero essere presenti nella struttura (fig. 4.2.3.2).

$$\begin{aligned} \hat{I}_1 &= \hat{I}_E + \hat{I}_D \\ \hat{I}_2 &= \hat{I}_E - \hat{I}_D = \hat{I}_E + \hat{I}_D \end{aligned}$$

(fig. 4.2.3.2) CORRENTI DI MODO DIFFERENZIALE E COMUNE

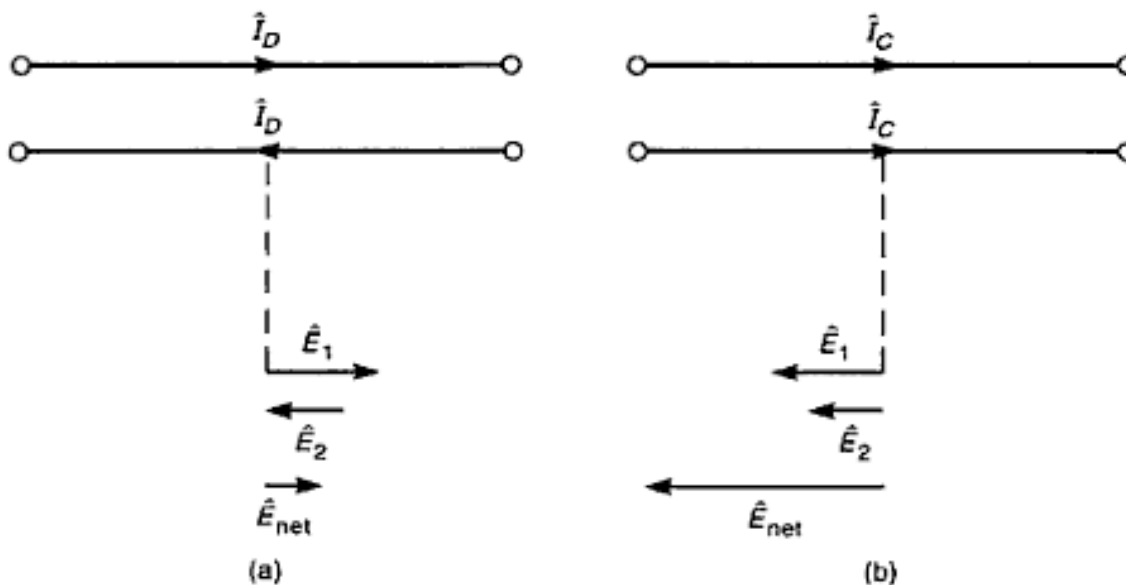
Le correnti di modo comune invece sono uguali in valore assoluto ed hanno stesso verso lungo i due conduttori, idealmente non dovrebbero esistere e nei circuiti a parametri concentrati non vengono considerate.

Studiando il significato che ciascuna di esse assume nei confronti delle emissioni radiate in una coppia di fili o da una coppia di piste di un circuito stampato, si ottiene che il campo elettrico totale radiato dalla

struttura è dato dalla sovrapposizione dei campi elettrici radiati  $\hat{E}$  da ciascuna corrente di modo differenziale. Si è detto che le correnti differenziali hanno verso opposto lungo i due conduttori e di conseguenza anche i campi elettrici da esse generate.

Tuttavia essi non si annullano a vicenda poiché i conduttori non sono sovrapposti, ma si sottraggono; si ottiene un campo elettrico radiato complessivo, dovuto alle correnti differenziali, di bassa intensità.

Al contrario le correnti di modo comune hanno stesso verso e i campi da essi radiati si sommano, ottenendo un contributo di campo totale ben maggiore di quello fornito dalle correnti di modo differenziale.



(fig. 4.2.3.3) ILLUSTRAZIONE DELLA POTENZIALITÀ DI IRRADIAZIONE DELLE CORRENTI DI MODO COMUNE (a) e DI MODO DIFFERENZIALE (b)

Una piccola corrente di modo comune può generare lo stesso livello di campo elettrico radiato da una corrente di modo differenziale di valore molto maggiore; allora correnti di modo comune generano emissioni radiate molto più intense di quelle generate dalle correnti di modo differenziale (vedi fig. 4.2.3.3). Esistono diversi fattori che possono dare origine a correnti indesiderate di modo comune, come la vicinanza a piani di massa (superficie conduttiva che rappresenta il riferimento) o altre asimmetrie strutturali. Riassumendo, le emissioni irradiate (RE) hanno luogo a causa del flusso di corrente nei cavi di collegamento tra i vari sistemi e alle correnti parassite sui contenitori degli apparati stessi.

Per quanto riguarda il problema delle onde irradiate/ricevute, estremamente importanti sono quindi:

- le *dimensioni elettriche* (relative alla lunghezza d'onda della radiazione emessa) dell'apparato sorgente e di quello vittima,
- La distanza tra apparato sorgente-vittima,
- Ed ovviamente la potenza irradiata.

#### 4.2.3.2 SUSCETTIVITA' PER FILI E PISTE DI CIRCUITI STAMPATI

Il rispetto dei limiti imposti dalle norme sulle emissioni irradiate è una necessità assoluta per poter commercializzare un'apparecchiatura elettronica, ma ciò dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica non è sufficiente; infatti se un prodotto presenta una suscettività ai disturbi esterni, per esempio campi irradiati da trasmettitori radar, o scariche elettrostatiche, allora le prestazioni di esso risulteranno inaffidabili.

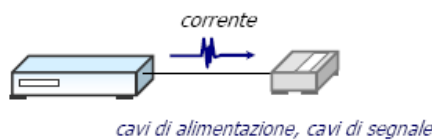
## 4.2.4 DISTURBI CONDOTTI

Quando si considerano questi fenomeni si fa riferimento ad emissioni condotte, al di fuori di un'apparecchiatura elettronica, attraverso il cavo di alimentazione.

Il sistema di distribuzione dell'energia elettrica di un impianto è una vasta rete di fili che collegano le diverse prese di corrente da cui i sistemi elettronici ricevono l'alimentazione elettrica in corrente alternata. Tutto ciò rappresenta un grande sistema di antenne attraverso il quale le emissioni condotte sono in grado di irradiate e quindi causare interferenze.

Da notare che se un'apparecchiatura non rispetta i limiti normativi sulle emissioni condotte, il soddisfacimento delle norme sulle emissioni radiate è un'inutile precauzione e addirittura a volte il rispetto delle norme su emissioni radiate e condotte non è sufficiente dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica.

I limiti imposti dalle norme sulle emissioni condotte sono rivolti a ridurre le interferenze delle emissioni radiate che si generano sulla rete di alimentazione a causa della loro fuoriuscita attraverso i cavi.



*(fig. 4.2.4.1) DISTURBI CONDOTTI*

### 4.2.4.1 CORRENTI MODO COMUNE E DIFFERENZIALI

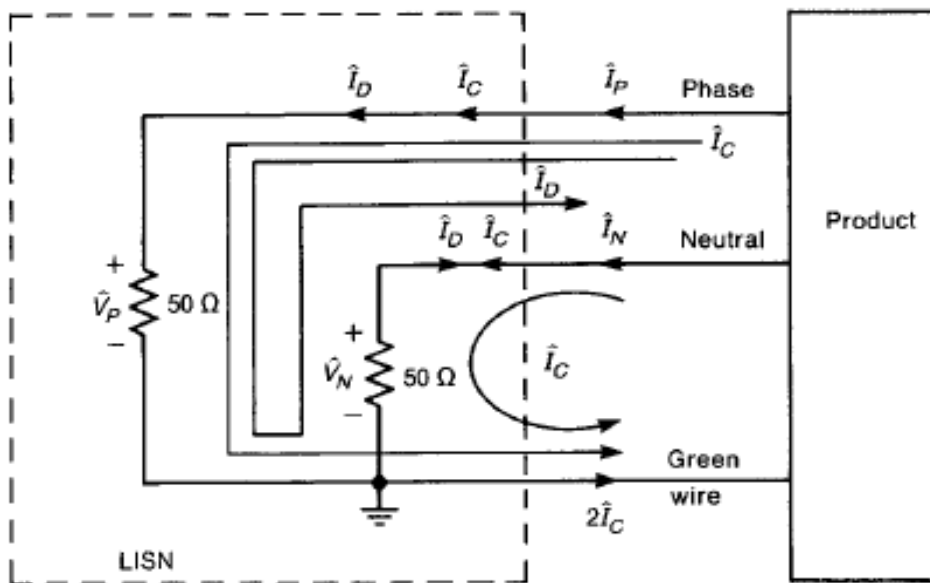
Le norme FCC (normative statunitensi) impongono limiti sulle emissioni condotte nell'intervallo di frequenze tra 450kHz e 30MHz, mentre le norme CISPR (normative europee) tra 150kHz e 30MHz. Anche in questo caso correnti che generano i disturbi condotti possono essere decomposte in una corrente di modo differenziale (uscente dal filo di fase dell'alimentazione e rientrante dal conduttore neutro) e in una componente di modo comune (uscente su entrambi i fili di fase e neutro e rientrante attraverso il filo di terra) illustrato nella relazione 4.2.4.1.

Le misure di questi disturbi, come si nota nella figura 4.2.4.2, vengono eseguite inserendo tra dispositivo ed alimentazione una rete di stabilizzazione dell'impedenza di linea (LISN) per impedire che l'apparato di misura interferisca con quello in esame ed ottenere così risultati falsati.

$$\hat{I}_P = \hat{I}_C + \hat{I}_D \quad \rightarrow \quad \hat{I}_D = \frac{1}{2} (\hat{I}_P - \hat{I}_N)$$

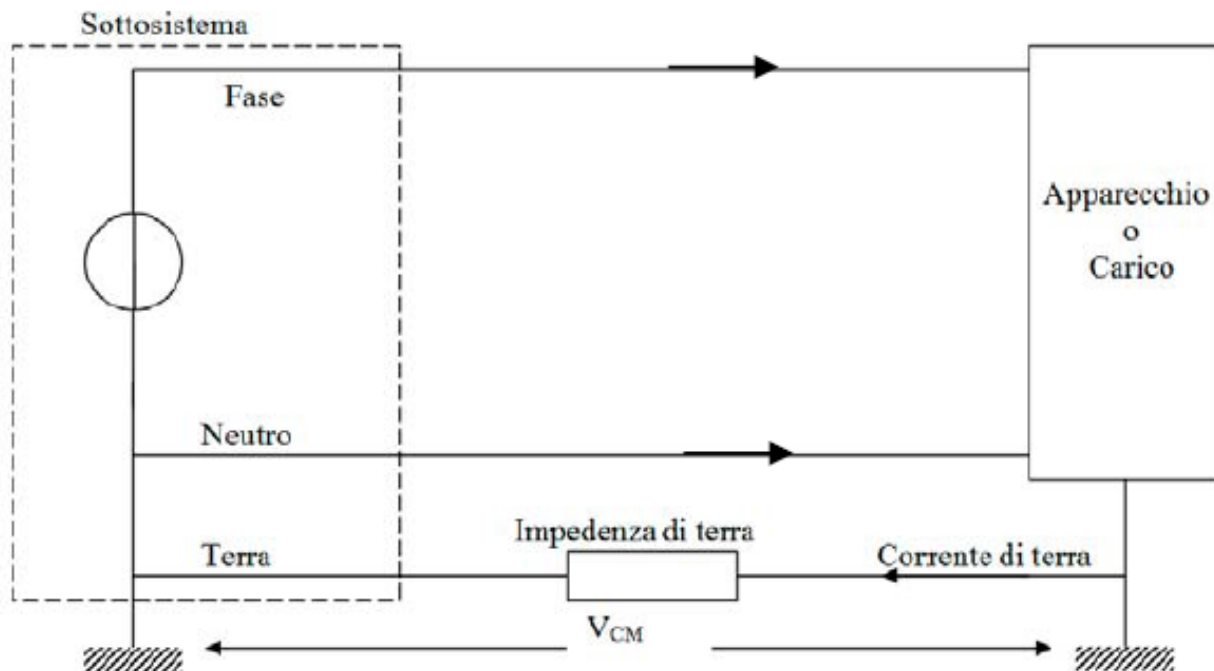
$$\hat{I}_N = \hat{I}_C - \hat{I}_D \quad \rightarrow \quad \hat{I}_C = \frac{1}{2} (\hat{I}_P + \hat{I}_N) \quad \text{(relazione 4.2.4.1)}$$

Nel caso di emissioni condotte le correnti di modo comune possono essere uguali o più grandi rispetto a quelle di modo differenziale, non si può fare l'ipotesi che le correnti di modo comune siano trascurabili agli effetti delle emissioni condotte. Da notare che la corrente di modo differenziale che è presa in esame nello studio delle emissioni condotte non è la corrente di alimentazione a 50Hz (60Hz U.S.A.) che fluisce sul cordone di alimentazione.



(fig. 4.2.4.2) CIRCUITO DI MISURA DEI DISTURBI CONDOTTI

I disturbi di modo comune possono essere causati dalla differenza di potenziale esistente tra due distinti punti di terra. Se vi è una tensione non nulla tra due punti del sistema di riferimento (vedi figura 4.2.4.3) e vi è un'impedenza tra questi due punti, allora scorrerà una corrente (indesiderata) nel conduttore di terra.



(fig. 4.2.4.3) DISTURBO DI MODO COMUNE DOVUTO AL SISTEMA DI RIFERIMENTO

Le emissioni condotte di modo comune viaggiano attraverso le due linee di alimentazione e si richiudono attraverso la terra, l'ampiezza del disturbo sulle due linee di alimentazione è la stessa mentre il segnale che si richiude attraverso la terra ha ampiezza doppia.

Per via delle frequenze elevate, le emissioni di modo comune possono propagarsi anche attraverso le capacità parassite presenti tra i componenti del sistema in esame e la terra.

La corrente di disturbo di modo comune percorre quindi i due conduttori che costituiscono il circuito di interesse (ad esempio le linee di alimentazione) nello stesso verso mentre il percorso di ritorno avviene attraverso le capacità parassite che si vengono a creare tra il sistema e la massa di riferimento.

Per evitare ciò tutte le apparecchiature prodotte contengono un filtro di alimentazione, posto in uscita, così le correnti di disturbo devono attraversarlo prima di percorrere il cavo di alimentazione.

Questo filtro ha il compito di ridurre le correnti di modo comune indipendentemente da quelle di modo differenziale (per esempio un trasformatore opportunamente progettato può fungere da filtro).

Come già sottolineato la principale sorgente di emissioni condotte è rappresentata dall'alimentatore dell'apparecchiatura.

Qualsiasi filtro di alimentazione non è in grado di ridurre le emissioni condotte oltre un certo livello e il metodo più efficace è quello di eliminarle direttamente alla fonte ogni volta che è possibile.

Per esempio gli alimentatori a commutazione basano il loro funzionamento su impulsi con fronti di salita e discesa rapidi così da contenere le perdite di potenza dell'alimentatore, ma proprio questi fronti generano molti disturbi condotti e la soluzione alla riduzione di queste interferenze è quella di aumentare i tempi di salita e discesa degli impulsi, di conseguenza aumentano le perdite di potenza e diminuisce il rendimento dell'alimentatore.

È necessario trovare un compromesso tra prestazioni (in termini di rendimento) e il limitare le sorgenti di disturbo.

#### **4.2.4.2 SUSCETTIVITÀ CONDOTTA**

Questi disturbi sono in genere dovuti a transitori di corrente di elevata intensità generati per esempio da scariche elettriche (per esempio un fulmine) che creano una conduzione diretta attraverso il cordone di alimentazione.

Le aziende sottopongono i loro prodotti a prove di suscettibilità condotta iniettando nei cavi di alimentazione segnali simili a tali disturbi.

Il solo filtro di alimentazione potrebbe non essere efficace contro questi fenomeni ed a volte è necessaria un'ulteriore protezione.

## 4.2.5 DIAFONIA

Con diafonia si intende il passaggio di energia da una linea ad un'altra (più precisamente da un circuito ad un altro).

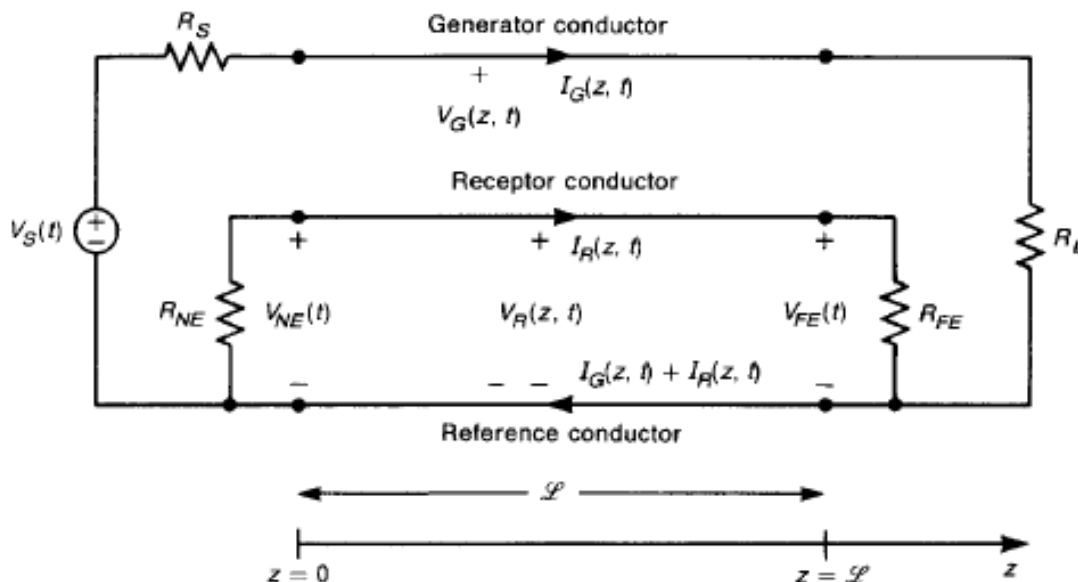
Il fenomeno è legato ad un accoppiamento magnetico di natura capacitiva/induttiva tra due fili o due piste dei circuiti stampati vicini tra loro, ma in assenza di un collegamento conduttivo fisico.

Esso rappresenta un'interferenza interna di un sistema: la sorgente dell'emissione elettromagnetica e il ricevitore della stessa appartengono allo stesso sistema; ciò porta alla progettazione di un prodotto che non interferisca elettromagneticamente con se stesso.

Tale fenomeno può influenzare negativamente le emissioni irradiate e/o condotte di un'apparecchiatura. Se per esempio si considera un cavo interno all'apparecchiatura molto vicino ad altri cavi esterni, può generarsi diafonia e i segnali sul cavo della periferica possono irradiarsi verso l'esterno provocando un superamento di emissioni irradiate.

Analogamente se avviene l'accoppiamento con l'alimentazione possono non essere rispettati le normative sulle emissioni condotte.

Perché si verifichi diafonia è necessaria la presenza di almeno tre conduttori.



(fig. 4.2.5.1) MODELLO A 3 LINEE DI TRASMISSIONE UTILIZZATO PER LO STUDIO DELLA DIAFONIA

Sotto alcune condizioni: linea elettricamente corta (dimensioni fisiche  $\ll$  dimensioni elettriche) e circuito generatore e ricevitore debolmente accoppiati, possiamo esprimere la diafonia come una combinazione lineare di contributi dovuti alla mutua induttanza e mutua capacità fra i due circuiti.

Secondo ben precise relazioni si ottiene che l'accoppiamento induttivo è predominante per carichi a bassa impedenza (correnti alte e basse tensioni) e si verifica quando una corrente  $I$ , che circola in un conduttore elettrico, crea un campo magnetico che si irradia attorno al conduttore stesso.

Allora qualsiasi spira formata da un conduttore elettrico di superficie  $S$  e attraversata da un campo magnetico variabile vede apparire una tensione  $U$  alternata alle sue estremità.

Tali disturbi sono associati ad elevate correnti quindi, molto spesso, i responsabili sono i conduttori di potenza o di alimentazione delle varie apparecchiature.

L'accoppiamento capacitivo, che in genere è presente per carichi ad alta impedenza (correnti basse ed alte tensioni), tra circuito elettrico (cavo, componente, ecc.) ed un altro circuito vicino (conduttore, massa, ecc.) è molto semplice da ottenere, e difficile da evitare, poiché esiste sempre una capacità non nulla tra le varie parti di un sistema o di un impianto.



La differenza di potenziale, variabile tra due zone di un unico sistema, o di sistemi diversi, provoca la circolazione di una corrente elettrica parassita che passa da uno all'altro attraverso l'isolante.

Il valore della corrente parassita  $I$  è tanto maggiore quanto più la frequenza della tensione ai morsetti della capacità parassita è elevata, in base alla relazione:

$$I = U/Z = U C 2\pi f$$

dove l'impedenza ai capi della capacità parassita è  $Z = 1/\omega C$ ,  $C$  è la capacità parassita,  $f$  è la frequenza della corrente parassita e  $U$  è la tensione ai capi della capacità parassita.

Il valore della capacità parassita risulta proporzionale alle superfici delle due parti del circuito interessate e inversamente proporzionale alla distanza tra i due circuiti.

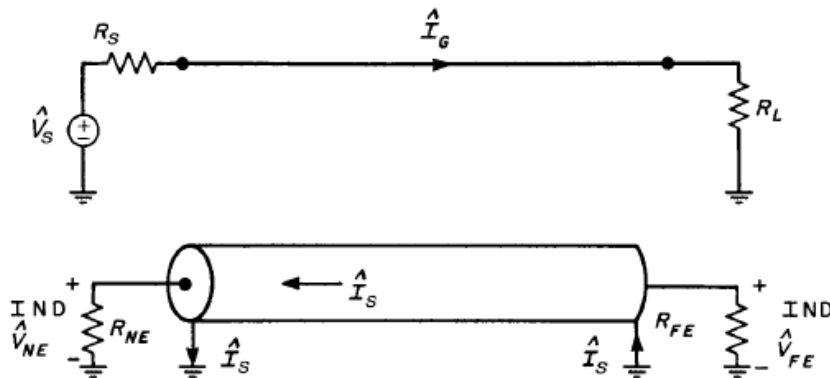
Va in ogni modo considerato che, se queste capacità tra i circuiti sono praticamente irrilevanti a 50 Hz, hanno tuttavia un'importanza considerevole ad alta frequenza e sono spesso all'origine di funzionamenti anomali dell'impianto.

## 4.3 TECNICHE DI SCHERMATURA E RIDUZIONE DEI FENOMENI EMC

### 4.3.1 CONDUTTORI SCHERMATI – CONDUTTORI INTRECCIATI

Esistono due metodi comuni per la riduzione dei disturbi appena illustrati tra linee conduttrici: sostituzione dei cavi interessati a tali fenomeni con cavi schermati oppure con cavi intrecciati.

Quando si inserisce un cavo schermato in genere si collega lo schermo stesso al conduttore di riferimento (piano di massa) su entrambe le estremità.



La tensione lungo lo schermo si riduce idealmente a zero annullando così il contributo capacitivo. Il campo elettrico viene a sua volta eliminato poiché le linee di campo del circuito generatore terminano sullo schermo e non più sul filo del circuito rivelatore.

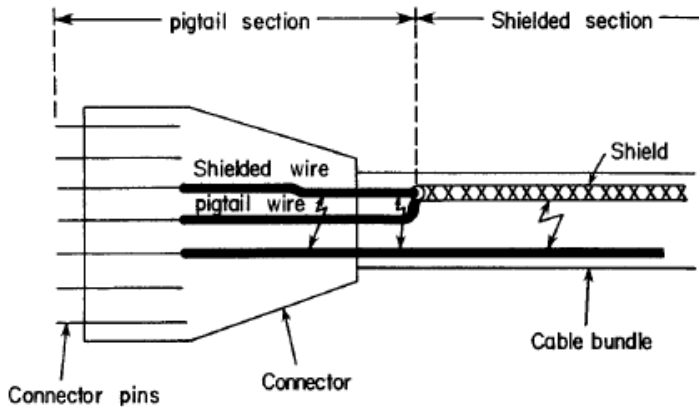
(fig. 4.3.1.1) AGGIUNTA DELLO SCHERMO ATTORNO IL FILO DEL CIRCUITO

Da ciò si deduce che il vero problema è assicurare che le estremità dello schermo siano entrambe alla tensione di riferimento e per una linea elettricamente corta questo non è difficile da ottenere ma all'aumentare della lunghezza della linea elettrica tale condizione risulta difficile da garantire e risulta necessario collegare lo schermo a massa in più punti distanti tra loro circa 1/10 della lunghezza d'onda per potere assicurare sia collegato a un potenziale nullo in tutta la sua lunghezza.

Un cavo schermato è in grado di eliminare anche l'accoppiamento induttivo (se lo schermo è collegato a massa in entrambe le estremità): la corrente che passa su filo generatore produce un flusso magnetico attraverso il circuito costituito da schermo e piano di massa, che induce una forza elettromotrice nello schermo provocando un flusso di corrente, lungo lo schermo, di verso opposto rispetto quella del generatore. Questa corrente a sua volta crea un flusso magnetico che tende ad annullare quello generato dal filo.

Questi risultati sono validi sia per schermatura del filo del circuito generatore che per quello del circuito rivelatore.

Effect of shield pigtails



Esistono però alcuni problemi nell'utilizzo dei cavi schermati, infatti il collegamento dello schermo a massa avviene attraverso un ponticello flessibile chiamato "Pigtail". Il filo interno allo schermo è lasciato scoperto per un tratto pari al ponticello e aumentando così la possibilità di un accoppiamento indesiderato. I pigtail riducono la capacità di schermatura rispetto al caso in cui il conduttore interno è completamente protetto (fig. 4.3.1.2).

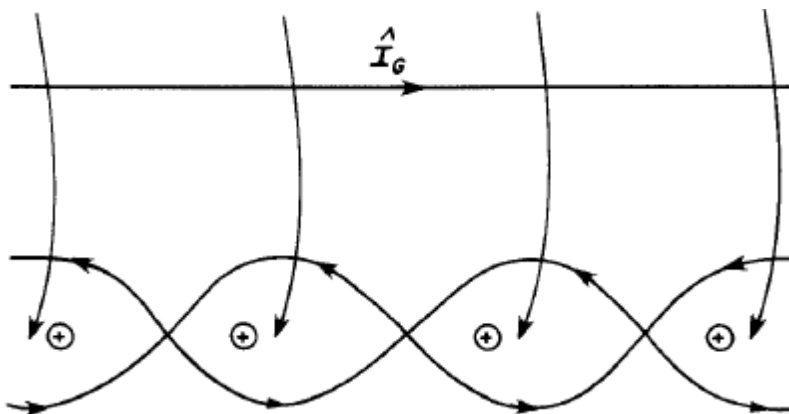
(fig. 4.3.1.2) ILLUSTRAZIONE PONTIDELLE PIGTAIL USATO PER COLLEGARE UNO SCHERMO A UN CONNETTORE

La seconda soluzione per ridurre la diafonia è data dall'utilizzo di cavi intrecciati:

Una coppia di fili intrecciati può essere considerata come il duale di un filo schermato; infatti sostituendo il filo del circuito ricevitore con una coppia di fili intrecciati, e utilizzando uno di essi come conduttore di ritorno del circuito ricevitore, si riduce l'accoppiamento induttivo grazie all'intreccio, mentre per la riduzione dell'accoppiamento capacitivo è necessario che i carichi terminali in entrambe le estremità siano bilanciati rispetto il conduttore di riferimento.

Una coppia intrecciata è un'elica bifilare approssimabile ad una serie di spire alternativamente invertite.

Preso in esame il flusso magnetico prodotto dalla corrente che scorre sul filo generatore, esso attraversa le

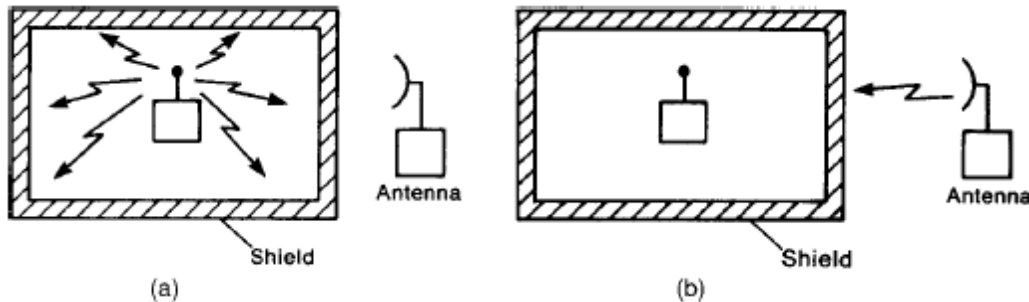


spire generando in ciascuna una f.e.m., ma avendo queste una polarità tra loro alternata, le f.e.m. indotte sulle spire adiacenti tendono a cancellarsi (fig. 4.3.1.3). Il risultato è che la f.e.m. netta indotta nel circuito ricevitore produrrà un accoppiamento uguale a quella di un paio di fili di lunghezza di una sola spira.

(fig. 4.3.1.3) EFFETTO SULL'ACCOUPLAMENTO INDUTTIVO CON COPPIA DI FILI INTRECCIATI NEL CIRCUITO RICEVITORE

## 4.3.2 SCHERMATURE: EFFICIENZA ED EFFETTO DELLE APERTURE

Quando si parla di schermo si fa riferimento a contenitori metallici che racchiudono completamente una apparecchiatura elettronica o una sua parte.

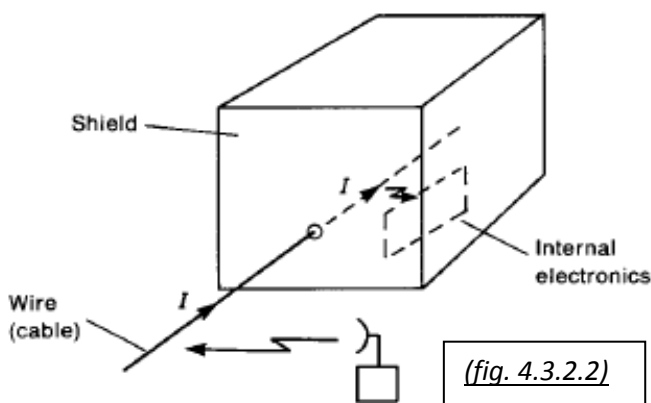


*(fig. 4.3.2.1) a) IMPEDIRE USCITA EMISSIONI IRRADIATE, b) IMPEDIRE INGRESSO EMISSIONI IRRADIATE*

I compiti fondamentali dello schermo sono (fig. 4.3.2.1):

- Impedire alle emissioni dei dispositivi elettronici dell'apparecchiatura o di una sua parte di irradiarsi all'esterno del contenitore dell'apparecchiatura e così far in modo che queste emissioni possano compromettere il rispetto delle norme sulle emissioni irradiate o causare interferenze con altri dispositivi.
- Impedire alle emissioni irradiate esterne all'apparecchiatura di accoppiarsi con i dispositivi elettronici interni.

Per ottenere elevati valori di schermatura è necessario che lo schermo racchiuda completamente i dispositivi elettronici e non presenti vie di accesso dall'esterno come aperture, fessure o cavi poiché qualsiasi apertura dello schermo può ridurre drasticamente l'efficacia.



Per esempio (figura 4.3.2.2) consideriamo una scatola metallica chiusa (il nostro schermo) in cui entra un filo, e una sorgente vicina (es. antenna) che irradia un campo elettromagnetico.

Quest'ultimo accoppiandosi con il filo, genera in esso una corrente indotta che fluisce liberamente attraverso lo schermo e provocando a sua volta un accoppiamento con i dispositivi racchiusi dallo schermo annullandone così l'efficienza.

Analogamente può avvenire che un disturbo interno alla struttura schermata si accoppi con il cavo e fluisca verso l'esterno dove si irradia.

Le soluzioni a questi problemi potrebbero essere: posizionamento di filtri sul cavo in corrispondenza del punto di attraversamento con lo schermo oppure usare cavi schermati con la cui calza collegata per l'intero perimetro a quello dell'apparecchiatura.

Tuttavia anche con queste precauzioni è possibile che le correnti presenti sullo schermo del cavo siano condotte sulla superficie interna dell'apparecchiatura così da irradiarsi nuovamente.

Può addirittura succedere che rimuovendo lo schermo di un cavo di collegamento si riducano le emissioni irradiate da parte del cavo stesso.

Perciò va posta attenzione sul fatto che uno schermo collocato attorno ai fili non riduce necessariamente le emissioni irradiate del cavo.

Per ottenere una schermatura efficiente e ridurre le emissioni irradiate è necessario che lo schermo del cavo sia collegato a potenziale zero poiché se la tensione del punto di collegamento del ponticello flessibile dello schermo è variabile viene realizzata involontariamente un'antenna.

Se la lunghezza dello schermo del cavo è dell'ordine di un quarto della lunghezza d'onda esso diventa un elemento radiante. Per esempio considerando un cavo di lunghezza di 1,5m si ottiene una frequenza di 50MHz per ottenere un quarto della lunghezza d'onda. Questo cavo così può presentare picchi di risonanza delle emissioni irradiate nell'intervallo da 50MHz a 100MHz.

È bene che il progettista affronti i problemi di compatibilità elettromagnetica in modo indipendente dal fatto che l'apparecchiatura venga schermata o meno poiché non sempre questa risulta efficiente.

### 4.3.3 PROGETTO SISTEMI ELETTROMAGNETICAMENTE COMPATIBILI

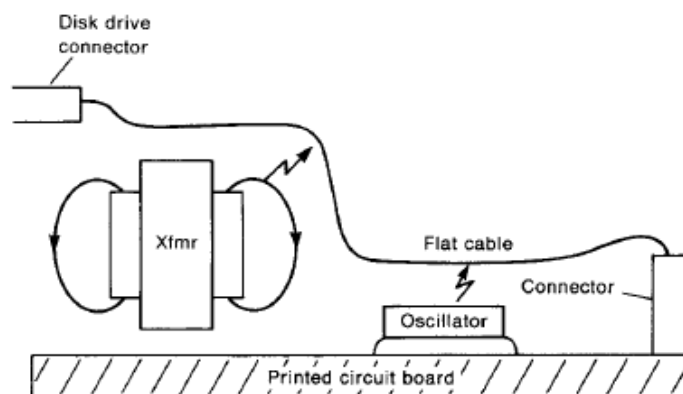
Nella progettazione di un sistema elettronico è necessario minimizzare, poiché è impossibile l'eliminazione completa, la capacità di interferire con altri sistemi, la suscettività alle interferenze provenienti da altri sistemi e la sua potenziale capacità di interferire con se stesso.

Esiste, come già detto, la valenza del principio di reciprocità tra emissioni e suscettività; infatti se si progetta un apparato elettronico in modo da rendere minima l'interferenza con altri sistemi a sua volta la suscettività tende a ridursi e viceversa.

Sono da tenere presenti alcune tecniche di progetto che se rispettate riducono notevolmente i problemi di compatibilità del dispositivo.

Come esempio si consideri un collegamento di massa tra due punti collegandoli con un cavo molto lungo; i due punti risultano circa allo stesso potenziale per basse frequenze e per correnti limitate. Ma come si aumenta la frequenza, il cavo comincia a presentare una impedenza sempre più elevata dovuta principalmente alla componente parassita induttiva arrivando ad una situazione in cui i due punti non risultano più collegati. Questo problema è dovuto dalla non idealità dei componenti elettronici e ad un diverso comportamento all'aumentare della frequenza.

È fondamentale che l'impedenza tra i vari punti di connessione di un collegamento di massa sia il più piccola possibile soprattutto nella banda di frequenza operativa d'interesse.



(fig. 4.3.3.1)

Un altro esempio è dato dalla disposizione dei cavi all'interno di un'apparecchiatura. Se un cavo passa sopra la superficie del circuito stampato e vicino all'oscillatore del circuito (spesso presente con frequenze maggiori di 10MHz), con molta probabilità il segnale dell'oscillatore si accoppierà con il filo e verrà propagato in modo non desiderato verso altre parti del sistema (vedi figura 4.3.3.1).

Una soluzione potrebbe essere collocare il connettore del cavo non nella posizione più comoda a livello di layout, ma in una in cui non ci siano interazioni con la superficie della scheda.

È importante quindi un'analisi dei potenziali problemi EMC già dalle prime fasi di progetto e non fare affidamento a metodi di schermatura alla fine della realizzazione del sistema poiché potrebbero non essere efficienti e indurre a costi molto maggiori rispetto ad una corretta progettazione in termini EMC.

Il progettare nel rispetto di EMC può seguire perciò, come appena detto, due approcci: il primo è il cosiddetto Crisis Approach ossia approccio in fase di collaudo mentre il secondo è il System Approach cioè approccio a livello sistematico al momento della definizione del progetto.

Nel primo caso il progettista procede nel suo lavoro nel totale disinteresse delle problematiche di EMC sino al termine del progetto. Durante la fase di collaudo in laboratorio, o addirittura direttamente nel campo si verifica se il problema esiste o no. Nel caso in cui vi sia un problema le soluzioni affrontate in questa fase sono quasi sempre estremamente costose e sono dei ripieghi. Inoltre man mano che il progetto evolve dalla fase di concezione a quella di collaudo, verso la sua produzione le soluzioni tecniche a disposizione del progettista per ridurre l'incidenza del rumore si riducono.

Al contrario i costi degli interventi aumentano in modo esponenziale.

Il fattore determinante per migliorare le prestazioni di una scheda a circuito stampato in termini di funzionalità, integrità di segnale ed EMC è quindi il suo layout, ovvero il progetto della realizzazione fisica di un circuito elettrico/elettronico prestando attenzione ad un'interconnessione ottimizzata tra gli elementi del circuito, alta realizzabilità, affidabilità e bassi costi.

Le fasi principali del layout di un PCB sono: la scelta del numero di layer, di piani e la loro configurazione interna, il posizionamento dei componenti, il disaccoppiamento dell'alimentazione, come vengono disegnate le connessioni elettriche ed infine lo studio dei piani di riferimento (masse).

Avere un sistema di massa e di alimentazione stabile e compatto infatti, è uno degli aspetti fondamentali nel progetto di un sistema elettronico e da questo dipendono molti fattori che potrebbero causare dei malfunzionamenti dell'intero sistema.

## **4.4 AMBIENTI E STRUMENTI DI MISURA DEI FENOMENI ELETTRROMAGNETICI**

### **4.4.1 AMBIENTI DI MISURA**

- **Sito all'aperto:** È possibile effettuare misure EMC all'aperto (Open Area Test Site), a patto che non vi siano ostacoli all'interno dell'*ellisse CISPR*, ovvero all'interno di un'area ellittica di opportuno diametro, secondo le normative FCC (o CISPR) le emissioni radiare devono essere misurate a distanza di 10m per dispositivi di classe A e 3m per quelli di classe B.  
Vantaggi: economicità e precisione nelle misure.  
Svantaggi: dipendenza della propagazione da fenomeni atmosferici, e rumorosità elettromagnetica dell'ambiente.  
Inoltre non è ammessa la misura di immunità irradiata in un sito all'aperto poiché introdurrebbe disturbi elettromagnetici nell'ambiente.
- **Camera schermata:** permette di ridurre i disturbi esterni, i quali rendono difficoltose le misure in campo aperto. Si tratta di una stanza rivestita da pareti metalliche unite insieme attraverso dei finger (contatti metallici che stabiliscono un collegamento elettrico fra le pareti e le porte), introducendo un'attenuazione dei disturbi esterni di 50 ÷ 110 dB. Non è utilizzabile per misure EMC

di immunità ed emissione irradiata in quanto la presenza di più facciate conduttrici pregiudica la possibilità di utilizzare il modello a due raggi.

La camera schermata può comunque essere utilizzata per individuare i valori di frequenza dei disturbi irradiati da un apparato; per poi effettuare una misura attendibile del disturbo in un sito all'aperto.

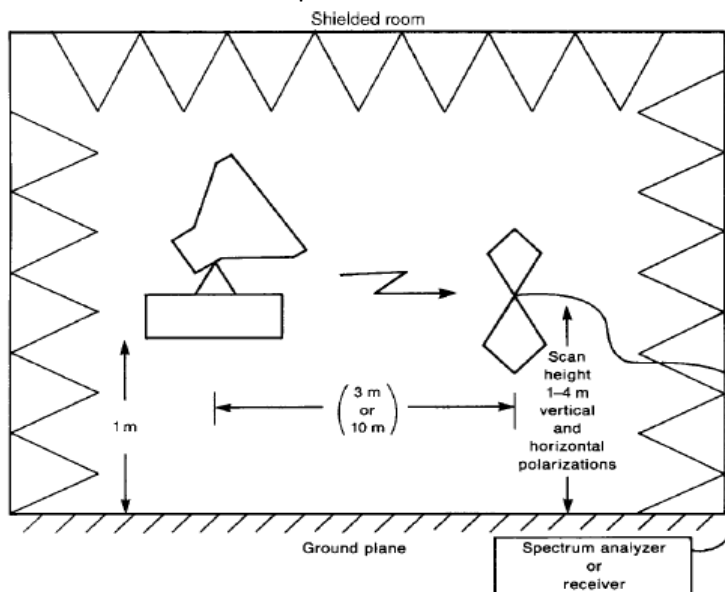
Vantaggi: economicità, protezione da fenomeni meteorologici ed isolamento dal rumore elettromagnetico ambientale.

Svantaggi: impossibilità di effettuare misure di ampiezza di campi elettromagnetici a causa delle riflessioni sulle pareti.

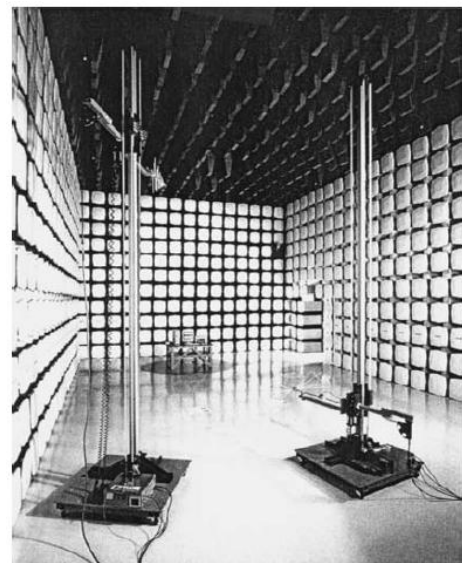
- **Camera semianecoica:** Si tratta di una camera schermata le cui pareti e soffitto sono rivestiti di materiale assorbente per le onde elettromagnetiche (fig. 4.4.1.1). Il pavimento risulta invece conduttore, cosicché lo studio della propagazione all'interno della camera semianecoica risulta semplificata dal modello a due raggi (la riflessione avviene solamente nel piano di massa ossia il pavimento della camera). Per rientrare con buona approssimazione nell'ipotesi di campo lontano, è necessaria una distanza antenna - E.U.T. di almeno 3 metri, da aumentare nel caso si utilizzino antenne molto direttive; per tale ragione le camere semianecoiche hanno dimensioni tipiche dell'ordine di 10x6x6 metri.

Vantaggi: protezione dai fenomeni meteorologici e dai disturbi esterni. Importante inoltre è la riproducibilità delle condizioni tipiche di misura (assenza di riflessioni sulle pareti e soffitto, come nel sito all'aperto).

Svantaggi: costo tipicamente maggiore di 300.000 euro, ed impossibilità di effettuare misure di immunità irradiata in quanto, a causa del pavimento riflettente, non si può raggiungere l'ipotesi di uniformità di campo.



(fig. 4.4.1.1) UTILIZZO CAMERA SEMIANECOICA PER EMISSIONI RADIATE



TIPICA CAMERA SEMIANECOICA PER LA MISURA DELLE EMISSIONI RADIATE

- **Camera anecoica:** È formata da una camera schermata con tutte le sei pareti interne rivestite di materiale assorbente; si può ottenere da una camera semianecoica rivestendo di materiale assorbente il pavimento. Vantaggi: gli stessi della camera semianecoica, ed inoltre la possibilità di ottenere la condizione di uniformità di campo (indispensabile per le prove di immunità irradiata). Svantaggi: il costo elevato, per cui nei grossi laboratori di misura vengono costruite camere anecoiche solo per le misure di immunità irradiata, con dimensioni dell'ordine di 3x2x2 metri.

## 4.4.2 MISURE EMC

### - PRE-COMPLIANCE

Non servono per la marcatura CE, forniscono indicazioni molto importanti al fine di: Individuare l'origine di problematiche di EMC, consentendo di apporre correzioni di progetto prima dei test presso laboratori accreditati.

Per ridurre il numero di "tentativi" presso un laboratorio accreditato si effettuano dapprima delle misure pre-compliance: si effettuano in proprio, con strumenti e strutture simili a quelle full compl. ma di prestazioni e costi inferiori.

### - FULL- COMPLIANCE: Immunità irradiata (per emissioni irradiate)

Misura delle emissioni irradiate tipicamente in camera anecoica o semianecoica con riferimento alle norme da rispettare (EN550XX, norme FCC, CISPR22....).

Vengono svolte le prove verificando che: la procedura tecnica sia completa rispetto ai requisiti della norma e/o completandola ove necessario con la stesura di un'adeguata documentazione di una sessione di prova eseguita in stretto accordo alla procedura tecnica sviluppata.

### - ESEMPIO PROCEDURA DI MISURAZIONE

- a) Predisposizione del luogo di misura;
- b) Scansione con analizzatore di spettro e rivelatore di picco per individuare le frequenze ove si riscontrano disturbi superiori al limite imposto;
- c) Scansione lenta con rivelatore di quasi picco in prossimità delle righe di ampiezza rilevante;
- d) Per ogni riga si effettua la ricerca del massimo valore variando l'altezza dell'antenna dal suolo fra 1 e 4 metri e ruotando l'apparecchiatura in test; si registra il valore massimo;
- e) Si ripete la misura di cui al punto precedente, cambiando la polarizzazione dell'antenna;
- f) Si stampa il risultato della misura sull'intera banda, indicando i valori massimi con i segni **x** e **+** per indicare i valori massimi misurati in polarizzazione verticale ed orizzontale.

## **4.5 NORMATIVE PER EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE**

### **4.5.1 INTRODUZIONE ALLE NORME EMC**

Considerando che il degrado delle prestazioni di un apparato può comportare un inaccettabile danno a persone e cose, dalla fine degli anni '80 sono nate delle norme con l'obiettivo di favorire il libero scambio di dispositivi elettrici ed elettronici che garantiscano i requisiti indispensabili al corretto funzionamento. Le normative EMC sono state studiate al fine di definire dei vincoli sui livelli di emissione e di immunità dei disturbi degli apparati, in modo da ottenere una standardizzazione sulle misure di EMC.

Gli Enti che hanno provveduto alla stesura delle norme EMC sono diversi e sono sia a livello nazionale che europeo o internazionale. Tra i più importanti vanno sicuramente nominati i seguenti: CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), IEC (International Electrotechnical Committee), CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) ed ETSI (European Telecommunication Standards Institute).

Per gli stati uniti invece l'ente che si occupa della regolamentazione delle comunicazioni radio e su cavo è FCC (commissione federale comunicazioni).

In relazione alle direttive comunitarie si possono distinguere quattro tipi di norme:

- Norme generiche: fissano i requisiti che gli apparati devono avere a seconda dell'ambiente a cui sono destinati, senza tener conto del particolare tipo di prodotto.
- Norme di prodotto: fissano dei limiti a specifiche categorie di prodotti.
- Norme Armonizzate: possono essere sia generiche sia di prodotto, ovvero fissano dei determinati limiti, possiamo dire che una norma armonizzata è una specifica tecnica; vengono emanate dalla Comunità Europea per essere poi armonizzate dagli stati membri (includere nella legislazione vigente).
- Norme di base: contengono la descrizione delle configurazioni di prova, le caratteristiche della strumentazione e le prescrizioni sui metodi di misura. Poiché non fissano dei limiti, non possono essere armonizzate.

### **4.5.2 PRINCIPALI DIRETTIVE EUROPEE ED INTERNAZIONALI**

#### **4.5.2.1 DIRETTIVA EUROPEA EMC**

La direttiva EMC (89/336/CE e successive modifiche 92/31/CE, 93/68/CE fino alla più recente 2004/108/CE), entrata in vigore dal 1° gennaio 1996 è stata emanata dalla commissione europea di Bruxelles ed è legge nazionale in tutti i paesi membri dell'UE.

Questa direttiva ha lo scopo di dare indicazione ai costruttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche al fine di poter garantire la compatibilità elettromagnetica (EMC) dei loro prodotti, ovvero che non interferiscano con altri dispositivi e che funzionino anche in presenza di un determinato livello di disturbi generato da altre apparecchiature. In definitiva, tale direttiva impone che tutti i prodotti elettrici ed elettronici (destinati al mercato comune europeo) debbano soddisfare i requisiti di EMC.

La direttiva EMC limita il massimo livello interferenze a RF che un dispositivo può irradiare nello spazio circostante ed il massimo livello accettabile di interferenze irradiate presenti nello spazio nel quale il dispositivo opera. L'applicazione della Direttiva Europea sulla compatibilità Elettromagnetica impone che ogni prodotto elettrico e/o elettronico debba essere realizzato in modo da limitare notevolmente i livelli di emissione dei disturbi elettromagnetici (EMI) ed aumentare l'immunità degli stessi.



La direttiva ha lo scopo di regolamentare le caratteristiche tecniche di prodotti elettrici o elettronici. Vengono elencati i prodotti interessati (suddivisi in apparecchi ed impianti fissi) che costituiscono l'ambito di applicazione ed i prodotti a cui non si applica la suddetta direttiva (ambito di esclusione).

Sono poi definiti tutti gli organismi coinvolti nella Direttiva EMC, ognuno con specifiche funzioni:

- le Autorità Competenti hanno il compito di controllare gli apparecchi messi in commercio per verificarne la rispondenza ai requisiti di protezione richiesti dalla Direttiva;
- gli Organismi Competenti possono rilasciare relazioni tecniche per gli apparati definiti dalla Direttiva;
- gli Organismi Notificati sono abilitati dalle Autorità Competenti a rilasciare attestati di esame CE di tipo.

La conformità ai requisiti essenziali è obbligatoria, ma la scelta del metodo per la relativa valutazione è lasciata al fabbricante. Si può ottenere la presunzione di conformità ricorrendo (volontariamente) alle norme tecniche armonizzate oppure si può fornire la dimostrazione della conformità senza ricorso alle suddette norme.

Vengono poi analizzate le condizioni dei test, le attrezzature da utilizzare e le procedure di prova; infine sono descritti i metodi per la redazione della documentazione tecnica, della dichiarazione di conformità CE e della relativa marcatura CE.

#### **4.5.2.2 IMMUNITÀ: NORMATIVA CEI EN 61000-4**

La presente Sezione della Pubblicazione IEC 61000-4 ("Compatibilità elettromagnetica – Tecniche di prova e di misura") è una Pubblicazione EMC (compatibilità elettromagnetica) di base. Essa prende in considerazione le prove di immunità per apparecchiature (apparati e sistemi) elettriche e/o elettroniche nel loro ambiente elettromagnetico. Vengono considerati i disturbi sia condotti che irradiati, incluse le prove di immunità per apparecchiature collegate a reti di alimentazione, di controllo e di comunicazione.

##### **• Disturbi in bassa frequenza; prove di immunità che riguardano i disturbi condotti in bassa frequenza nelle reti di alimentazione in bassa tensione:**

1. Armoniche;
2. Interarmoniche;
3. Trasmissione di segnali sulla rete di alimentazione (da 100 Hz a 150 [450] kHz) ;
4. Fluttuazioni di tensione;
5. Abbassamenti di tensione e brevi interruzioni;
6. Sbilanciamento di tensioni trifase;
7. Variazioni della frequenza di rete;
8. Componenti in c.c. in reti a.c.

##### **• Transitori e disturbi in alta frequenza condotti; prove di immunità che riguardano i transitori ed i disturbi in HF condotti:**

1. Impulsi di tensione 100/1300  $\mu$ s (fusibile che salta);
2. Impulso (di tensione) 1,5/50  $\mu$ s - (di corrente) 8/20  $\mu$ s;
3. Scariche di transitori veloci di tensione (n x 5/50 ns);
4. Onda oscillatoria (0,5  $\mu$ s/100 kHz);
5. Onde oscillatorie smorzate (0,1 MHz ed 1 MHz);
6. Tensioni ridotte ad alta frequenza (da 0,01 MHz a 1 MHz);
7. Disturbi condotti a radiofrequenza;
8. Impulso di tensione 10/700  $\mu$ s.

• **Scariche elettrostatiche; prove di immunità riguardanti le scariche elettrostatiche:**

1. Scariche elettrostatiche (ESD).

• **Disturbi magnetici; prove di immunità riguardanti i disturbi magnetici:**

1. Campo magnetico a frequenza di rete;
2. Campo magnetico impulsivo;
3. Campo magnetico oscillatorio smorzato.

• **Disturbi elettromagnetici; prove di immunità riguardanti i disturbi elettromagnetici:**

1. Campo elettromagnetico irradiato.

La scelta delle prove e dei livelli di prova per un particolare prodotto dipende generalmente dalle condizioni ambientali che includono l'ambiente elettromagnetico e le condizioni di installazione. A causa della diversità di queste influenze, vengono definite le specifiche condizioni ambientali per ciascun gruppo di disturbi.

La scelta della prova di immunità da applicare ad una particolare apparecchiatura dipende da numerosi fattori, principalmente da: tipo di disturbi che influenzano l'apparecchiatura; condizioni ambientali; affidabilità e comportamento richiesti; vincoli economici.

A causa della grande varietà di apparecchiature, i diversi requisiti per queste varie apparecchiature e la diversità delle condizioni ambientali, è impossibile stabilire criteri precisi per la scelta del livello di prova in ciascun caso particolare.

#### 4.5.2.3 **NORMATIVA CISPR 22**

Adottate da molti stati europei e molte nazioni del mondo, danno riferimenti sui valori limite per le emissioni irradiate e condotte.

Per esempio le emissioni irradiate dei dispositivi di classe B (classe A= dispositivi utilizzati in ambiente commerciale, industriale; classe B= dispositivi destinati ad uso privato, non compresi nella classe A, limiti più restrittivi per classe B) devono essere misurati alla distanza di 10m, e devono rispettare i limiti prefissati (vedi tabelle 4.5.2.3a, b, c, d) . Una significativa differenza tra norme CISPR22 e FCC (normative vigenti per Stati Uniti) sta nell'intervallo di frequenza delle emissioni condotte: da 150KHz a 30MHz per CISPR22 e da 450KHz a 30MHz per FCC.

Frequency (MHz)	$\mu\text{V}/\text{m}$	$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
30–230	31.6	30
230–1000	70.8	37

*(tab. 4.5.2.3a) LIMITI FISSATI DA CISPR22 PER LE EMISSIONI RADIATE DEGLI APPARECCHI DIGITALI DI CLASSE B (A 10m)  
(stessi valori nel casi di classe A ma a distanza di 30m)*

Frequency (MHz)	$\mu\text{V}/\text{m}$	$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
30–230	100	40
230–1000	224	47

*(tab. 4.5.2.3b) LIMITI FISSATI DA CISPR22 PER LE EMISSIONI RADIATE DEGLI APPARECCHI DIGITALI DI CLASSE A (A 10m)*

Frequency (MHz)	$\mu\text{V QP (AV)}$	$\text{dB}\mu\text{V QP (AV)}$
0.15	1995 (631)	66 (56)
0.5	631 (199.5)	56 (46)
0.5–5	631 (199.5)	56 (46)
5–30	1000 (316)	60 (50)

(tab. 4.5.2.3c) LIMITI FISSATI DA CISPR22 PER LE EMISSIONI CONDOTTE DEGLI APPARECCHI DIGITALI DI CLASSE B

Frequency (MHz)	$\mu\text{V QP (AV)}$	$\text{dB}\mu\text{V QP (AV)}$
0.15–0.5	8912.5 (1995)	79 (66)
0.5–30	4467 (1000)	73 (60)

(tab. 4.5.2.3d) LIMITI FISSATI DA CISPR22 PER LE EMISSIONI CONDOTTE DEGLI APPARECCHI DIGITALI DI CLASSE

#### 4.5.2.4 SICUREZZA FUNZIONALE: NORMATIVE IEC 61000-1-2 e IEC 61508

La norma IEC 61000-1-2 “Compatibilità elettromagnetica – Metodologia per il conseguimento della sicurezza funzionale di apparati elettrici ed elettronici rispetto ai fenomeni elettromagnetici” specifica le procedure per determinare i requisiti EMC specifici, gli aspetti di progettazione ed installazione degli apparati, i metodi per la valutazione analitica.

L’obbiettivo è quindi di indirizzare i possibili effetti di disturbi EM sul tema della sicurezza in modo da specificare i requisiti per il progetto, la realizzazione e l’installazione di apparati e sistemi in modo da ottenere la sicurezza funzionale richiesta.

Altro aspetto da considerare nell’ambito degli azionamenti elettrici e della EMC è la sicurezza funzionale. Per sicurezza si intende in generale l’assenza di inaccettabili rischi di danni fisici o lesioni alla salute di persone, sia direttamente che indirettamente causate da guasti o malfunzionamenti di apparati o ambienti. La sicurezza funzionale, in particolare, si occupa di sistemi o apparati che rispondono in modo corretto agli input forniti loro.

La norma IEC 61508 si occupa di sicurezza funzionale e definisce i criteri di progettazione e gestione dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili nei diversi settori industriali in cui possono presentarsi rischi per le persone, l’ambiente e di perdita economica.

Lo standard IEC 61508 costituisce una norma di tipo generico utilizzabile direttamente nei diversi settori industriali nei quali sono utilizzati *sistemi elettrici, elettronici e elettronici programmabili* per applicazioni di sicurezza, ma anche per la definizione di norme più specializzate per quei settori industriali ove si ritenga necessaria ed opportuna una maggiore specificità delle prescrizioni di affidabilità.

## **4.6 CASI DI MALFUNZIONAMENTI A BORDO NAVE DOVUTI AD INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE**

### **4.6.1 INTRODUZIONE**

Al giorno d'oggi vengono aggiunti sempre più sistemi elettronici a bordo delle navi. Molti di questi irradiano o ricevono campi elettromagnetici.

Spesso questi strumenti rappresentano parti vitali per la navigazione ed è importante garantire il loro corretto funzionamento con una installazione che non comporti una generazione di interferenze elettromagnetiche tra i vari dispositivi.

Si conclude che è necessario un approfondito studio sui problemi EMC in fase di progetto per minimizzare poi in fase di realizzazione i problemi che questi possono generare.

### **4.6.2 CASI DI INTERFERENZE CON SISTEMI DI NAVIGAZIONE AUTOMATICA**

Nel 1999 ci fu una collisione tra una nave semi-sommergibile e un impianto di gas. La nave ha subito un improvviso aumento di potenza a causa di un'interazione indesiderata tra il segnale radio di un trasmettitore portatile VHF e il joystick di comando.

Questa interferenza ha fatto sì che il joystick non rispondesse ai comandi dell'operatore portando la nave a contatto con la piattaforma di estrazione del gas. Fortunatamente il contatto portò solo a lievi danni.

Un altro caso avvenne nel porto di Rotterdam dove era installato un radar a banda X per il controllo del traffico marittimo il quale interferì con un trasmettitore di una nave da rimorchio portando la nave stessa a scontrarsi con la banchina.

Esistono inoltre alcuni casi di problemi EMI con il sistema di pilota automatico i quali possano avere contribuito al rovesciamento di due barche rispettivamente nel 1987 e 1989. In entrambi i casi si sospetta che gli impianti VHF di bordo del radiotelefono abbiano interferito con il pilota automatico facendo ruotare bruscamente il timone.

Queste interferenze tra apparati VHF e pilota automatico si sono rivelate abbastanza comuni e dopo alcuni studi si capì che erano introdotte tra l'interfaccia dell'autopilota e i cavi di controllo.

Inizialmente molte navi erano costrette a disattivare l'autopilota quando le apparecchiature radio trasmettevano.

Si comprese che i componenti non opportunamente schermati potevano fungere da antenne.

Infatti nei casi precedenti i cavi di segnale del pilota automatico a causa della loro non corretta schermatura si comportavano come antenne VHF.

### **4.6.3 CASI DI INTERFERENZE CON SISTEMI DGPS**

Nel 1997 la OSL (Offshore Systems Ltd) un'azienda produttrice di apparecchiature di bordo che installò impianti in molte navi in tutto il mondo, si trovò a dover risolvere un caso insolito di guasto ad un ricevitore DGPS installato in una nave da trasporto canadese di 25000 tonnellate.

Nel 1994 nella nave vennero installati sistemi ECDIS (sistemi di navigazione) comprendenti ricevitori DGPS, interfacciando il tutto con gli apparati radar e agli altri dispositivi elettronici presenti nel ponte.

L'utilizzo di questi nuovi sistemi di navigazione doveva garantire una navigazione più sicura ed efficiente ma dopo la loro installazione a bordo cominciarono a manifestarsi problemi al ricevitore DGPS.

I guasti portavano ad errate informazioni sulla navigazione come velocità di crociera impossibili o rotte sopra a distese di terra.

Il sistema venne più volte resettato e spesso addirittura disattivato.

L'equipaggio notò che questi problemi si manifestavano con maggior frequenza in particolari zone marine. Ciò portò a sospettare che in queste zone ci fossero delle interferenze radio o elettromagnetiche al di sopra della norma ma questa ipotesi venne smentita: molte altre navi che passavano in quelle coordinate dotate di apparecchiature di bordo analoghe non subivano alcuna interferenza.

La OSL cominciò una serie di tentativi per la risoluzione di questi problemi senza però ottenere risultati: venne spostata l'antenna DGPS allontanandola maggiormente dai radar e dalle fonti di microonde, si sostituì l'antenna, vennero cambiati i cavi e molti altri tentativi.

Spesso sembrava che il problema fosse risolto ma dopo poco questo si ripresentava.

Si capì così che la strumentazione DGPS funzionava correttamente e che i problemi erano generati da altri componenti presenti nella nave.

Dopo numerosi tentativi e studi approfonditi si notò che scollegando l'antenna TV i sistemi DGPS funzionavano correttamente e proprio l'antenna TV era la causa delle interferenze.

Questa era stata installata precedentemente ai GPS ed era stata acquistata e montata dall'equipaggio stesso.

L'antenna funzionava correttamente quando era lontana dai ripetitori TV senza interferire con i sistemi DGPS, mentre in prossimità dei ripetitori essa subiva un sovraccarico che la portava a generare disturbi radio che interferivano con i sistemi di navigazione, ecco quindi il perché i GPS non funzionavano solo in alcune zone, ossia nelle zone in cui vi era la vicinanza dei ripetitori TV.

### **4.6.4 SOLUZIONI PER LA PREVENZIONE DI FENOMENI EMI**

Esempi di fonti di EMI comprendono le linee elettriche, motori ed interruttori, e possono essere causate anche dall'interazione di segnali irradiati con gli elementi dello scafo.

Mentre poco si può fare per controllare le interferenze naturali, possono invece essere ridotte quelle incidentali e generate dallo scafo. È necessario anzitutto verificare la natura dell'interferenza per poter scegliere una corretta progettazione, installazione e manutenzione.

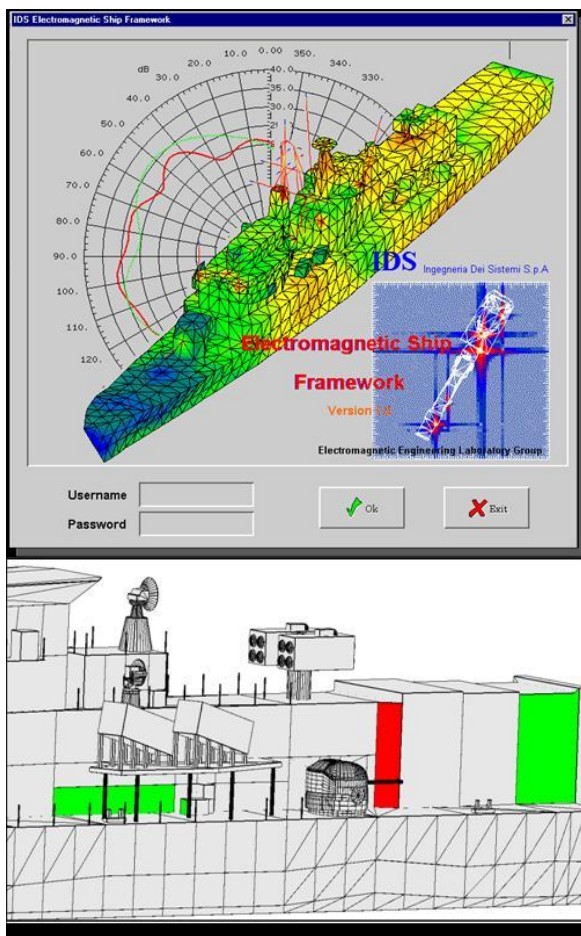
Nei sistemi di bordo come le comunicazioni radar ed altri sistemi di comunicazione la nascita del disturbo è data dalla generazione di energia elettromagnetica indesiderata alle diverse frequenze di funzionamento.

Sappiamo che le interferenze si accoppiano attraverso un percorso, la soluzione quindi è quella di eliminare questo percorso con un adeguato isolamento o schermature di cavi ed opportuni filtri, e sempre più per

i collegamenti si usano le fibre ottiche che danno l'enorme vantaggio di essere immuni alle interferenze elettromagnetiche poiché trasmettono impulsi di luce e non segnali elettrici.

Nel 2004 per sono stati studiati i problemi di interferenze dei ricevitori GPS a bordo nave e si sono studiate alcune soluzioni per la riduzione di questi fenomeni dopo che la marina e la Guardia Costiera degli Stati Uniti aprirono un'inchiesta riguardante i GPS disponibili sul mercato in ambito marittimo che impiegavano antenne attive molto suscettibili alle emissioni radar.

Altre ricerche condotte hanno dato la possibilità della stesura di standard riguardanti l'installazione dei componenti elettronici a bordo nave (per esempio IEC) dando precise indicazioni sui metodi, tipologia di collegamenti e distanze da rispettare.



Al giorno d'oggi esistono inoltre specifici strumenti di simulazione che permettono la scelta dell'ubicazione più adeguata per le antenne con riferimento all'influenza di strutture metalliche e non, presenti nelle vicinanze. Questi software forniscono ambienti CAD integrati e permettono simulazioni delle emissioni elettromagnetiche con un controllo nella configurazione in ogni fase di progetto, con l'analisi di tutte le parti metalliche e non, ed una modellazione delle spettro di frequenza delle varie unità navali.

Forniscono anche la possibilità di analisi di tutte la apparecchiature di navigazione installate (radar, VHF, strumenti satellitari, etc. ), con valutazione e calcolo della distribuzione dei campi attraverso la creazione di modelli 3D per individuare le prestazioni complete.

Un esempio di questa tipologia di software è dato da Ship-EDF prodotto dalla IDS company.

*(fig. 4.6.4.1) SOFTWARE SHIP-EDF*

## **CONCLUSIONI**

Il tema principale durante l'attività di tirocinio è stato lo studio e le tecniche di progettazione nell'ambito navale.

In particolar modo sono stati approfonditi ed analizzati i sistemi e la strumentazione elettronica necessaria alla navigazione e alla comunicazione. Inizialmente è stato effettuato uno studio riguardo ai principali strumenti che devono equipaggiare la nave commissionata all'azienda.

In riferimento alla necessità di rispetto delle normative Solas e DNV in fase di progetto, sia nella scelta che nella disposizione di queste apparecchiature, è stato notato che spesso venivano richieste particolari precauzioni su possibili problemi di compatibilità elettromagnetica tra dispositivi.

Si è così deciso di prendere in esame questi fenomeni eseguendo uno studio non tanto teorico e matematico, ma più che altro descrittivo dove è stato in particolar modo evidenziato come questi interferiscano e si generino nelle apparecchiature elettroniche e nell'ambiente circostante.

Sono state poi studiate le principali tecniche di prevenzione che se applicate permettono un controllo di questi fenomeni e le norme oggi vigenti che forniscono limiti massimi e permettono la tutela dell'utente esposto in ambienti elettromagneticamente inquinati.

Tutto ciò è stato quindi esteso alla strumentazione elettronica a bordo nave caratterizzando le tecniche usate per la prevenzione e come, con l'ausilio della documentazione degli strumenti scelti, con una corretta collocazione e montaggio di tutte le unità presenti possa essere possibile un corretto funzionamento dell'intero sistema nave.

È capitato spesso che questi problemi in fase di progetto vengano tralasciati o venga dato loro poco conto se non nel caso in cui sia assolutamente necessario affinché il progetto possa essere certificato ed approvato dagli enti specializzati.

In genere invece si rinvia ad una fase successiva al progetto l'analisi di questi fenomeni e a volte solo nel caso in cui questi si presentino.

Dagli studi eseguiti viene sottolineato come sia molto più semplice una risoluzione dei problemi EMC durante il progetto applicando specifiche tecniche di prevenzione rispetto ad una trattazione in fase di collaudo dove il principale modo per sopprimere i disturbi è basato su tecniche di schermatura che risultano molto costose e non sempre così efficienti.

È stato interessante capire come nasce il progetto di una nave, soprattutto vedere come questo venga suddiviso nelle varie aree progettuali (dallo scafo all'allestimento, agli impianti di bordo ..... ) ed assicurare a ciascuna area, una volta studiate come un unico sistema, un corretto funzionamento.

In una nave devono essere presi in considerazione davvero molti fenomeni che ogni singola parte può generare o subire e ciò che risulta più complesso è garantire una coesione di tutti i sistemi e impianti che la compongono.

# **BIBLIOGRAFIA**

## **CAP.1**

- DNV – *Rules for classification of Ships – Part6 Chapter 8 : NAUTICAL SAFETY*, July 2004 corrections January 2007.
- SOLAS – *International Convention for the Safety of Life at Sea, Chapter IV Radiocommunications*, Consolidated Edition 2004, IMO 2004.
- SOLAS – *International Convention for the Safety of Life at Sea, Chapter V Safety of navigation*, Consolidated Edition 2004, IMO 2004.
- Merrill I. Skolnik,, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill.
- RSS-287(Radio Standard Specifications), *Emergency Position Indicating Radio Beacons (EPIRB), Emergency Locator Transmitters (ELT), Personal Locator Beacons (PLB), and Maritime Survivor Locator Devices (MSLD)*, February 2007 .
- Global Positioning System, <http://www.gps.gov/systems/gps/index.html>
- Maritime Safety Service Inmarsat Ltd., *Fleet F77 & F55 Services and Applications Reference Manual*, May 2007
- GMDSS AREAS OF OPERATION (SEA AREAS),  
<http://www.navcen.uscg.gov/marcomms/gmdss/area.htm>
- NORTHROP GRUMMAN Sperry Marine, Operation, Installation and Service Manual NAVIGAT X MK1 Digital Gyrocompass System, May 2008

## **CAP2.**

- DNV – *Rules for classification of Ships/High speed, light craft and naval surface craft - Part4 Chapter 9: CONTROL AND MONITORING SYSTEMS*, January 2005 corrections January 2007.
- DNV – *Rules for classification of Ships – Part6 Chapter 8 : NAUTICAL SAFETY*, July 2004 corrections January 2007.
- DNV – *Rules for classification of Ships/High speed, light craft and naval surface craft - Part6 Chapter 17: SAFETY OF NAVIGATION FOR NAVAL VESSELS*, January 2005.
- Northrop Grumman Sperry Marine, *Visionmaster FT Ship's Manual*, December 2006.



- Thrane & Thrane A/S, *TT-3000E mini-C GMDSS System Installation Manual*, July 2007.
- Northrop Grumman Sperry Marine, *NAVIPLOT 4000 Heading Control System: Installation and Operation Manual*, June 2006.
- Taiyo Musen Co., Ltd, *VHF Automatic Digital Direction Finder TD-L1550A Instruction Manual*, February 2009.
- MX Marine a Division of NAVICO, Inc., *MX421 High Precision GPS Sensor: Installation Manual*, 2008.
- Thrane & Thrane A/S, *SAILOR SYSTEM 5000 MF/HF user manual*, July 2007.
- JRC Japan Radio Co., Ltd, *Automatic Identification System JHS-182 Installation Manual*, October 2006
- Thrane & Thrane *T-3086A SAILOR FLEET 77 Installation Manual*, May 2005
- Inmarsat Ltd, *MARITIME DESIGN AND INSTALLATION GUIDELINES*, May 2007

### **CAP. 3**

- FURUNO ELECTRIC CO. , *SEARCHLIGHT SONAR CH-250 Installation Manual*, March 2003
- FURUNO ELETRIC CO. *CH270 Installation Supplement Contents*, 2004
- LOWRANCE, *TECHNICAL SUPPORT SONAR TUTORIAL*

### **CAP. 4**

- R. P. Clayton – *Introduction to Electromagnetic Compatibility* – Wiley & Sons.
- P. Subiaco - *Appunti delle lezioni “Direttiva EMC 89/336/CEE Compatibilità elettromagnetica 24 giugno 2002”*.
- Naval Electronics, Inc., *Detrimental Effects of Installing Consumer Electronics on Ships*, Presented at RTCM May, 1997.