

Il Convegno Scientifico
"LE NUOVE TECNOLOGIE DEI MATERIALI E LE LORO
APPLICAZIONI IN CAMPO NAVALE".
Accademia Militare Navale di Livorno, 4-7 aprile 1995.

A. Aiello*, C. Caneva*, C. Santulli**

* Università di Roma-La Sapienza Dip. ICMMPM

** JRC - ISEI

**QUALITÀ E MANUTENZIONE PREDITTIVA MEDIANTE
IL CONTROLLO NON DISTRUTTIVO IN CAMPO NAVALE**

ABSTRACT

Il controllo non distruttivo delle strutture durante la loro fabbricazione ed assemblaggio consente di garantirne un elevato livello di qualità. Inoltre, in settori come il navale, specie se militare, in cui sono richieste prestazioni elevate e notevole grado di affidabilità, il controllo non distruttivo durante l'esercizio riveste un ruolo critico.

Le sollecitazioni meccaniche cui viene sottoposto lo scafo sono composte da una componente di fatica, indotta sia dal moto ondoso che dai sistemi di propulsione. Nel caso delle unità militari si deve anche considerare una componente aciclica derivante dall'utilizzo dei sistemi di armamento.

La variabilità dei carichi e dei loro tempi di applicazione porta qui all'oggettiva difficoltà di stabilire con certezza la pericolosità dei difetti presenti. Il rischio perciò di una eccessiva approssimazione nella rilevazione della criticità di un danno ha finora suggerito di operare secondo una filosofia di sostituzione preventiva dei vari componenti in base al decorso di un periodo di impiego od a difettosità riscontrate, con margini di sicurezza tali da garantire la perfetta efficienza dei mezzi nelle uscite in mare.

La presente memoria si propone di discutere la validità di un approccio alternativo al problema, integrando i controlli periodici sulla nave con l'uso di tecniche di indagine non distruttiva, qui esposte in modo ragionato, in funzione della loro possibile adattabilità ad applicazioni navali. Tali metodi sono in grado di prolungare la vita operativa dei componenti mediante il controllo e lo studio degli inneschi e della evoluzione nel tempo dei difetti, consentendo l'ottimizzazione degli interventi di manutenzione. Questo si traduce infine in un risparmio sui costi di manutenzione con un sensibile aumento dell'MTBF (mean time between failures), pur garantendo la massima sicurezza delle strutture più sollecitate.

I MATERIALI STRUTTURALI DI IMPIEGO NAVALE

Diversamente dagli altri settori del trasporto, in campo navale non si è ancora assistito alla sostituzione, se non per alcune applicazioni, dei materiali metallici tradizionali con materiali innovativi ad alto rapporto resistenza/peso. Ciò è dovuto al non elevato interesse che questa innovazione presenterebbe, specie

se rapportata alle difficoltà ed al costo di realizzazione di scafi di lunghezza superiore ai 30-40 metri con le attuali tecniche di lavorazione dei compositi.

Grande diffusione hanno invece avuto i materiali compositi a basso costo, come le resine poliesteri rinforzate con fibre di vetro, nel settore della nautica da diporto e più in generale delle piccole unità, in quanto consentono di ottenere significativi vantaggi, tra i quali elenchiamo:

- 1 possibilità di ottenere forme più complesse con costi minori ;
- 1 prestazioni migliori (bassa sensibilità ai fenomeni di corrosione e di danneggiamento da parte di microrganismi);
- 1 basso peso e quindi facile trasportabilità dell' imbarcazione;
- 1 bassi costi di manutenzione.

Talune specifiche caratteristiche dei materiali compositi ne hanno consentito tuttavia la diffusione in alcuni settori del naviglio militare, in particolare:

- 1 aliscafi e motoscafi da competizione;
- 1 lanciamissili veloci;
- 1 cacciamine;
- 1 motovedette.

In particolare i mezzi antimine sono realizzati ormai solo in materiale composito, vista la caratteristica amagnetica impartita agli scafi.

Il legname è stato invece pressoché abbandonato, a causa dell' alto costo e delle difficoltà di lavorazione, e viene adottato solo su piccole imbarcazioni tradizionali, quali i gozzi, o per elementi ornamentali, nonché su imbarcazioni di alto costo alle quali si vuol conferire particolare raffinatezza e valore estetico.

In generale le imbarcazioni moderne possono certamente essere considerate, da un punto di vista costruttivo, prodotti a tecnologia matura, in quanto sono caratterizzate da una lunga vita operativa con un rischio di incidenti molto ridotto. Gli eventi catastrofici, nelle rare occasioni in cui si verificano, sono infatti difficilmente imputabili a vizi costruttivi o ad erronea manutenzione.

Quindi lusinghiero risultato è stato però spesso raggiunto a costo di notevoli ridondanze e sovradimensionamenti in fase di progettazione, per soddisfare ad elevati coefficienti di sicurezza, molto superiori a quelli adottati negli altri settori del trasporto.

E' quindi evidente come l' adozione di politiche industriali di manutenzione programmata, assistita dal controllo non distruttivo periodico e dal monitoraggio in linea, consentirebbe di ridurre le ridondanze in favore di una ottimizzazione dei costi, mantenendo costanti le condizioni di sicurezza.

IL COSTO DELLA QUALITA'

L' industria navale, escludendo il settore della nautica da diporto e del naviglio militare leggero, quali ad esempio le imbarcazioni di vigilanza costiera, è caratterizzata da una produzione di poche unità che vengono non infrequentemente espressamente realizzate in singolo esemplare sulla base delle specifiche del cliente.

Ciò comporta l' impossibilità di estendere al comparto navale i metodi di controllo statistico della qualità adottati negli altri settori industriali (1).

D' altra parte, la fabbricazione delle grosse unità navali può essere considerata come un' attività di progettazione ed assemblaggio, poiché i grossi pannelli

metallici che costituiscono lo scafo, così come gli apparati di propulsione o l'elettronica di bordo vengono prodotti da fornitori esterni, ed a questi viene delegato il compito di garantire la rispondenza del componente alle specifiche richieste.

Nel settore delle grandi unità, quindi, il controllo di qualità non può che essere *off-line* (2); ciò vuol dire che l'attività di controllo di qualità si trasferisce dal prodotto al progetto interessando l'intero indotto collegato. In questo caso l'obiettivo della garanzia di qualità si traduce nella definizione di nuove metodiche progettuali, con l'adozione di diverse politiche nel campo della componentistica. Nel caso invece di produzione quasi seriale, quale è quello della nautica da diporto, si può efficacemente intervenire con un'azione di controllo *in-line* (3). Infatti, generalmente, lo scafo viene progettato, prodotto ed assemblato direttamente dal fabbricante, senza intervento di terze parti, se non per le componenti accessorie. Ciò vuol dire che, attraverso sistemi di controllo in fase di processo, è possibile determinare le variabili caratteristiche di produzione col fine ultimo di garantire una qualità del prodotto che non si discosti dall'intervallo di confidenza accettato in fase di progetto (fig.1).

E' evidente come, in questo caso, non sia possibile intervenire su alcune variabili legate alle scelte produttive, che richiedono comunque una azione di controllo *off-line* da realizzare in sede di definizione delle specifiche. Alla base di qualunque scelta di politica della qualità esiste comunque la determinazione dei costi che ciò comporterà (4). Se infatti l'ingegnere cerca sempre di garantire le migliori condizioni operative, il responsabile del marketing deve misurarsi con il mercato e con la disponibilità della clientela a spendere.

Se ci limitiamo a considerare come accettabile solo il prodotto che rispetta le specifiche di progetto, allora la determinazione del costo della qualità è molto semplice: sarà sufficiente valutare quanti componenti altrimenti difettosi divengono utilizzabili grazie alle procedure di controllo. Se però consideriamo come perdita l'insoddisfazione del cliente che riceve un prodotto non pienamente rispondente alle specifiche, che possiamo considerare rispondenti con le sue aspettative, è evidente che questo *costo* sarà tanto maggiore quanto più il prodotto si allontana da esse. Questo è ciò che si chiama funzione di costo di Taguchi (5), illustrata nella fig.2.

Adottando questo tipo di approccio, in cui diviene determinante la soddisfazione della clientela, occorre ridefinire la *specifica* come (Jessup) "il punto in cui la perdita proveniente dal far proseguire il pezzo al cliente è pari al costo della migliore azione di recupero se il pezzo viene respinto".

Il calcolo del costo della qualità interessa così l'intero processo di produzione e può essere efficacemente applicato anche alle operazioni di manutenzione, al fine di determinare quando la sostituzione divenga conveniente rispetto alla riparazione.

QUALITA' E MANUTENZIONE PREDITTIVA

Soddisfazione del cliente vuol dire mantenere inalterate le caratteristiche del prodotto che ha acquistato, sia questo un mezzo od un servizio. Attualmente, per garantire la costanza delle prestazioni del prodotto in campo navale, si ricorre

sulle grandi navi ad una specifica di progettazione che prevede elevati sovradimensionamenti.

La criticità delle difettosità presenti, sussistente nonostante questa precauzione, viene poi ridotta e differita dalla compartimentazione della nave, che consente di ricorrere alle riparazioni durante le soste periodiche. Ancora oggi è l' esame visivo a guidare i tecnici nella rilevazione e riparazione del danneggiamento della struttura.

il discorso cambia se ci riferiamo alle produzioni seriali di basso costo; qui un monitoraggio precoce della presenza di difettosità critiche potrebbe tradursi in un miglioramento dell' immagine dell' azienda produttrice presso il grosso pubblico dei fruitori della nautica. Questo diviene ancora più importante considerando i ridotti margini di guadagno ed investimenti delle piccole aziende del settore che impongono la scelta di limitare la produzione ad uno o due tipi di strutture, che devono quindi presentare un elevato grado di affidabilità .

In questo contesto, una scelta meditata della tecnica di controllo permette di ottimizzare la progettazione dell' imbarcazione riducendone i costi di produzione con aumento degli utili, pur nella certezza di un prodotto valido e rispondente alle aspettative dell' acquirente.

Ulteriore assicurazione per il cliente sarebbe il fornire precise indicazioni sulle operazioni di manutenzione e sulle scadenze da rispettare, proponendo forme di garanzia prolungata, personalizzate per ogni esemplare prodotto, grazie alla possibilità di conoscere l' esistenza di difetti di fabbricazione prima della vendita attraverso l' adozione di controlli non distruttivi.

Considerando poi che i fenomeni di fatica sono tra le principali cause di danneggiamento per le componenti strutturali navali, la possibilità di seguire' innesco e la propagazione del danno attraverso il monitoraggio dei componenti critici per la sicurezza mediante tecniche di indagine non distruttiva consentirebbe di prolungare la vita operativa di ogni parte della struttura, attraverso la possibilità di determinarne con maggiore precisione la tolleranza al danno e la vita residua.

I diversi componenti sarebbero così controllati durante l' intera vita operativa, e sostituiti solo quando non garantiscono più la piena affidabilità.

Ancora più efficace può essere l' azione di controllo nel settore del naviglio militare. in questo caso, infatti ai normali fenomeni di fatica particolarmente intensi viste le maggiori prestazioni richieste, si aggiungono le sollecitazioni acicliche ed impulsive dovute all' utilizzo dei sistemi d' armamento. E' quindi estremamente difficile prevedere, sulla base di valutazioni teoriche, la reale criticità dei fenomeni di danneggiamento, e le operazioni di manutenzione e sostituzione di pezzi vengono eseguite mantenendo elevatissimi margini di sicurezza.

L' adozione delle tecniche di manutenzione predittiva basate sulle indagini non distruttive permette di passare da una filosofia dell' affidabilità basata sui controlli periodici ad una, più razionale e meno costosa, centrata sull' evoluzione programmata del danneggiamento.

VERIFICA DELL' AFFIDABILITA' MEDIANTE INDAGINI NON DISTRUTTIVE

Le tecniche di indagine non distruttiva hanno avuto notevole diffusione in tutti i settori della produzione in quanto consentono il raggiungimento di alcuni fondamentali obiettivi:

- 1 riduzione dei costi di produzione e manutenzione,
- 1 miglioramento del livello di qualità
- 1 costanza del processo produttivo.

Attualmente, in conformità coi regolamenti tecnici vigenti in campo navale, si preferisce la sostituzione dei componenti critici della sicurezza dopo periodi di servizio definiti in fase di progetto, piuttosto che il loro utilizzo fino al termine della vita operativa. L' insofferenza del pubblico verso i disservizi impone di operare sempre in condizioni estremamente cautelative.

In realtà, attraverso un attento esame delle strutture mediante indagini non distruttive, sarebbe possibile prolungare notevolmente la vita delle parti critiche per la sicurezza, in base alle effettive condizioni di danneggiamento, riducendo fortemente gli sprechi.

Così come si definisce la qualità di un prodotto, occorre definire la qualità del controllo. Una ispezione deve garantire tre requisiti sostanziali: rilevazione del difetto, qualificazione del personale, rispondenza agli standard di conformità dei vari tipi di difetti.

Per il raggiungimento di questi tre obiettivi risultano critici:

- 1) il metodo di indagine, da scegliersi in base alle dimensioni minime rilevabili del difetto, alle sue dimensioni critiche ed ovviamente all' applicabilità della tecnica in questione nelle condizioni di prova
- 2) la strumentazione, rispondente agli standard di mercato o normativi e che dia risultati ripetibili
- 3) l' affidabilità delle procedure di ispezione, da definirsi nel dettaglio, identificando fattori di disturbo ed accorgimenti da prendere
- 4) certificazione del personale, in grado di eseguire correttamente la prova e di valutarne i risultati. Ove è possibile, si preferisce usare procedure semiautomatiche.

In particolare:

1) Metodi di indagine non distruttiva

Le tecniche applicate al settore navale sono diverse, ed ognuna possiede caratteristiche peculiari che la rendono indicata per scopi circoscritti.

- 1 Esame visivo: tuttora uno dei più utilizzati ed affidabili
- 1 Liquidi penetranti, polveri magnetiche: si prestano solo per verifiche di cricche superficiali su componenti di piccole dimensioni; sono però molto semplici da applicare e tuttora estesamente impiegate per la determinazione di difetti superficiali nelle saldature
- 1 Indagini radiografiche: vengono applicate con le stesse limitazioni delle indagini ultrasonore; poiché è richiesta l' accessibilità di entrambe le superfici del componente, nel caso di navi con doppio scafo l' indagine sarà tuttavia molto difficile, se non impossibile. Inoltre è da tener presente il rischio di irraggiamento.
- 1 Indagini ultrasonore: vengono efficacemente utilizzate nella verifica delle saldature e delle giunzioni tra le diverse parti dello scafo, in conformità a

quanto previsto dal R.I.Na. possono inoltre essere impiegate per le verifiche strutturali di componenti critici per la sicurezza, come i timoni, le eliche o gli alberi di trasmissione.

- 1 Magnetoscopia: diffusamente utilizzata per determinare la presenza di cricche o danneggiamenti all'interno degli alberi di trasmissione
- 1 Correnti indotte: efficaci sulle strutture metalliche navali, richiedono particolare esperienza per l'interpretazione dei risultati, poiché in campo navale non vi sono, come invece in campo aeronautico, procedure standardizzate per il loro uso
- 1 Emissione acustica (10)(11): può essere utilizzata anche su grandi strutture durante il normale esercizio; occorre una buona esperienza per l'interpretazione dei risultati e difficilmente dà risposte immediate. Non esistono in Italia ancora procedure di certificazione di analisi o del personale addetto
- 1 Termografia (12): di semplice applicazione. La termovisione nell'infrarosso, infatti, viene eseguita mediante una semplice videocamera identica a quelle nel visibile e con le stesse possibilità di variazione di inquadratura mediante il cambio di focale. La presentazione grafica dei risultati semplifica l'interpretazione. Non è ancora tuttavia accettata dagli organi certificanti
- 1 Analisi dell'impedenza meccanica: nata per evidenziare le deadesioni tra skins e cores nei sandwich, analizzando un'onda sonora all'interno del materiale. Il suo campo di applicazione è limitato alle strutture multistrato, ai laminati ed ai giunti incollati. Richiede una complessa taratura.

Strumentazione

Punti qualificanti sono:

- applicazione di strumentazione aggiornata
- calibrazione semplice, meglio se interna
- strumentazione digitale (possibilità di trattamento del segnale)
- verifica con strumenti analogici della taratura

2) Affidabilità delle procedure di ispezione

Una volta stabilito che tipo di indagini compiere e con quale tipo di apparecchiature, occorre definire chiaramente le procedure da seguire per le diverse operazioni. In primo luogo è necessario sensibilizzare il personale sull'importanza delle attività di ispezione.

La stesura delle procedure deve essere svolta in unione con i diversi enti di certificazione e ad essi verrà richiesto al riguardo un parere finale motivato, al fine di attestare l'efficacia dell'azione di manutenzione.

Le procedure verranno poi illustrate con chiarezza agli addetti, saranno facilmente leggibili e prontamente consultabili in caso di necessità.

Sarebbe anzi opportuno operare con sistemi semiautomatici, onde minimizzare la possibilità di errore umano. Per ogni tipo di indagini è necessario disporre di un'ampia casistica associante tipologia, criticità e modalità di produzione della difettosità.

Sulla base dei risultati delle indagini non distruttive si potrà decidere se procedere alla sostituzione di parti oppure raccomandare soltanto un secondo controllo a scadenza ravvicinata per controllare l'evoluzione dei fenomeni critici. Le prove non distruttive sono anche in grado di evidenziare un'eventuale prudenza eccessiva nella definizione delle procedure operative ed un loro possibile adeguamento.

3) Certificazione del personale

E' l'unica variabile difficilmente prevedibile nella qualità del controllo.

Una buona ispezione richiede in effetti:

- tecnici specializzati, se possibile qualificati
- verifiche periodiche della loro preparazione
- istruzione dettagliata sulle procedure, con evidenziamento dell'importanza di certi passaggi.

ATTIVITA' DI ISPEZIONE IN CAMPO NAVALE

Attualmente, la normativa R.I.Na. prevede l'impiego delle tecniche di indagine non distruttive prevalentemente in fase di assemblaggio, con verifiche di tutte le parti rilevanti per la sicurezza.

Vengono esaminate tutte le saldature o giunzioni tra componenti strutturali, nonché gli apparati direzionali o di propulsione. Le tecniche prescritte sono la radiografia, gli ultrasuoni, la magnetoscopia ed i liquidi penetranti. Il personale deve essere qualificato secondo il R.I.Na. o deve dipendere direttamente da esso, così come gli strumenti di indagine devono essere conformi alle prescrizioni tecniche.

In base ai risultati delle ispezioni verrà decisa la scadenza delle indagini successive, ma se non vengono rilevati difetti di dimensioni tali da poter compromettere l'affidabilità le ispezioni periodiche verranno svolte ogni cinque anni, ed a tali scadenze si eseguono principalmente misure di spessore.

Le componenti meccaniche sono verificate secondo le prescrizioni del fabbricante, sempre approvate dal R.I.Na., e raramente le sostituzioni vengono effettuate a scadenze prolungate sulla base di considerazioni sulla vita residua.

Pertanto le procedure ispettive in fase di fabbricazione rispondono efficacemente ai requisiti richiesti ad una ispezione di qualità. Occorre però sottolineare come la gestione delle ispezioni periodiche è piuttosto rigida, e risponde efficacemente ad una filosofia di *fail-safe*, certamente onerosa sul piano della gestione ottimale dei materiali. Inoltre le azioni ispettive hanno finalità di verifica e non di controllo ed ottimizzazione di processo, che resta quindi legato alle specifiche progettuali con le ridondanze e gli eccessi ivi previsti.

La situazione è ancora incerta nel settore del naviglio veloce, dove non esiste una casistica sufficiente ad elaborare delle norme di validità generale. L'orientamento del R.I.Na. è quello di far proprie le recenti prescrizioni del I.M.O. (International Maritime Organization), "New Code of Safety for High Speed Craft", che però non hanno tuttora ampia applicazione a livello internazionale, e comunque lasciano ampia libertà di applicazione alle singole amministrazioni nazionali. D'altra parte, la diffusione delle imbarcazioni veloci per trasporto di

auto e passeggeri sulle rotte nazionali impone l'adozione di controlli adeguati a garantire le ottimali condizioni di sicurezza. Ogni imbarcazione costituisce quindi un caso a sé, anche per quanto concerne la manutenzione periodica.

Le tecniche di indagine adottate sono comunque sempre le stesse, anche se le componenti critiche sono molto più numerose. In particolare richiedono attenzione le alette portanti, la timoneria, gli alberi di trasmissione e le eliche. Inoltre sono molto più intensi i fenomeni di fatica.

POSSIBILI EVOLUZIONI

Il continuo progresso nel settore della cantieristica navale, in particolare per quanto concerne i materiali impiegati, lascia prevedere una sempre maggiore diffusione dei materiali compositi e delle strutture sandwich, visti i ridotti costi di manutenzione e la maggior libertà progettuale che ciò consente. Questo comporterà inevitabilmente un maggior impiego delle indagini non distruttive in fase di fabbricazione, al fine di garantire l'affidabilità dei componenti pur con una riduzione dei coefficienti di sicurezza, attualmente anche superiori a 10.

La recente crisi congiunturale attraversata anche dal settore nautico ha dimostrato come la concorrenza nel settore della cantieristica sia estremamente forte ed una maggiore competitività richiede necessariamente costi minori. Non potendo però agire, se non in misura limitata, sulla leva della riduzione di personale, vista la manualità richiesta in molte fasi della lavorazione, sarà inevitabile agire sulla riduzione delle ridondanze di materiale. La possibilità di valutare in maniera accurata gli spessori dei componenti in composito, grazie alla diffusione dei codici di calcolo ad elementi finiti ed alle conoscenze acquisite nel campo della micromeccanica dei materiali, avrebbe scarso riscontro in produzione se le tecniche di fabbricazione adottate non consentirebbero poi il rispetto delle tolleranze.

Indipendentemente dal processo prescelto, però, è sempre necessaria una fase di affinamento in cui i metodi di indagine non distruttiva divengono fondamentali. Il naviglio mercantile in acciaio, quello cioè di grandi dimensioni, potrebbe trarre notevoli benefici da una più diffusa attività di controllo non distruttivo in fase di manutenzione. Se, infatti lo scafo non pone particolari problemi, gran parte delle componenti accessorie rilevanti per la sicurezza vengono sostituite a scadenze programmate, senza altra valutazione sulla vita residua se non quella derivante dall'esperienza. Le conoscenze maturate nell'ultimo decennio in campo aeronautico mostrano come una accorta strategia dei controlli consenta una forte riduzione degli sprechi, grazie al prolungamento della vita dei componenti pur senza riduzioni di affidabilità. Un approccio simile potrebbe consentire notevoli risparmi anche in campo navale, ma è innanzi tutto necessario un cambiamento nella metodologia della manutenzione, accettando l'idea che il limite di vita, dipendendo fortemente dalle condizioni operative, non può essere stabilito aprioristicamente, ma solo valutato durante l'uso.

È chiaro che elemento propulsivo di questo processo di modernizzazione del sistema di manutenzione navale deve essere l'ente di controllo, che dovrà accettare e diffondere, dopo opportune verifiche e controlli, questa nuova filosofia. Compito prioritario del R.I.Na. sarà quello di accertare il permanere dei requisiti base di sicurezza attraverso la verifica delle procedure di controllo e

delle valutazioni sulla vita operativa dei componenti. Inoltre dovrà verificare l'applicabilità alle componenti navali delle nuove tecniche di indagine non distruttiva espressamente elaborate per i materiali compositi e le strutture sandwich, come la termografia, la analisi dell' impedenza meccanica o l'emissione acustica.

CONCLUSIONI

L'adozione di tecniche di manutenzione predittiva mediante indagini non distruttive consente di ridurre i costi e di aumentare l'affidabilità e di elaborare dei programmi di manutenzione ottimizzati per diversi tipi di imbarcazioni. La vita operativa dipenderà dai fenomeni di danneggiamento effettivamente rilevati nella struttura, e non semplicemente dalle previsioni elaborate in fase di progetto.

Se economicamente vantaggioso, si potrà anche non compiere le riparazioni necessarie per garantire l'affidabilità del mezzo nelle preesistenti condizioni di esercizio, ma variarne la destinazione d'uso o le possibilità di carico in modo da mantenere invariata la sicurezza nelle nuove condizioni di esercizio.

L'introduzione della manutenzione predittiva richiede però la condivisione delle esperienze del fabbricante, dell'esercente e dell'ente di controllo al fine di elaborare delle procedure di controllo realmente efficaci, per garantire l'affidabilità dei mezzi.

BIBLIOGRAFIA

1.W.E. DEMING

The statistical control of quality.

Quality, vol.19.

2.W.S. MESSINA

Il controllo statistico di qualità per il responsabile di produzione.

Franco Angeli, Milano.

3.K. ISHIKAWA

Guide to Quality Control.

Asian Productivity Organisation, Tokyo, Japan.

4.A.J. DUNCAN

Quality control and industrial statistics.

Irwin, Homewood

5.G. TAGUCHI, Y.WU

Introduction to off-line quality control.

Central Japan Quality Control Association, Nagoya, Japan

6.P.T. JESSUP

The value of continuing improvement.

Proceedings of the 1985 International Communications Conference, Institution of Electric Engineers, 1985.

7.J.M.JURAN, F.M. GRZYNA, R.S. BINGHAM

Quality Control Handbook.

McGraw-Hill, New York

8.M.ALIMENTO

The impact of the new IMO Code on design, construction and management.

Proceeding of NAV'94, Rome, October 1994.

9.C.CANEVA, C.SANTULLI, F. STIVALI.

L' Emissione Acustica per la valutazione del comportamento micromeccanico di compositi a matrice metallica.

Atti della 7a Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive, Monitoraggio, Diagnostica. Ferrara, 3 - 6 ottobre 1993, pp.166-178.

10.C.CANEVA, C.SANTULLI, F. STIVALI.

Distribuzione delle sollecitazioni su recipienti a pressione in Filament Winding durante la prova idraulica.

Atti IX Convegno Nazionale IGF, Roma, 2-4 giugno 1993.

11.A. AIELLO, C.CANEVA, A. SOLONI.

C-scan e termografia: due tecniche a confronto per la valutazione del danno nei compositi FRPC.

Atti X Convegno Nazionale IGF, Torino, 8-10 giugno 1994.