

**Sistema autonomo robotizzato per l'ispezione delle catene di ormeggio
che legano le strutture offshore di estrazione olio e gas al fondale marino:
EU Cooperative Research Project CHAINTEST.**

*Dario Seni, Paolo Porta
Bytest srl*

L'impiego di piattaforme flottanti nell'estrazione di petrolio e gas offshore è in continuo incremento. Impianti di trivellazione semisommersi sono comuni da tempo nell'esplorazione offshore, ma oggi si incontrano strutture galleggianti in piattaforme estrattive di vari tipi, serbatoi di stoccaggio temporaneo, moduli alloggio e pontoni gru. Man mano che nuovi campi estrattivi vengono aperti in acque profonde, ai margini delle piattaforme continentali, le piattaforme fissate al fondale marino diventano inutilizzabili, inoltre le piattaforme galleggianti possono essere spostate da un campo all'altro, permettendo lo sfruttamento di giacimenti anche di piccole dimensioni.

Le piattaforme galleggianti di produzione devono essere ancorate al fondale. L'integrità del sistema di ancoraggio diventa critica, perché le conseguenze di una avaria potrebbero causare dispersione di greggio su scala catastrofica.

Esiste quindi una urgente necessità di migliorare la gestione dell'integrità dei sistemi di ormeggio. Un aspetto consiste nell'ispezione degli elementi delle catene. La necessità di metodi di ispezione più efficaci di quelli attualmente utilizzati è fortemente sentita dall'industria. Uno degli elementi da ispezionare sono le catene di ormeggio.

Il sistema di controllo proposto dal progetto Chaintest è destinato a controllare le catene in loco, sotto il livello dell'acqua, è automatizzato e sensibile alle cricche di fatica. Per il rilievo e la valutazione di tutti gli aspetti di danneggiamento sono state sviluppate tecniche di ispezione utilizzando vari metodi NDT, condotte da strumenti di controllo operati da un unico veicolo semovente a guida remotizzata.

Il progetto, sviluppato da un consorzio coordinato dal TWI con parziale contributo della Comunità Europea, sta avviandosi alle fasi conclusive e questo documento ne riassume le linee generali, oltre a fornire alcune informazioni relative alle peculiarità dei metodi NDT impiegati e alle problematiche incontrate e risolte dai Partners nello sviluppo del sistema.

Composizione del consorzio:

- 1. TWI LIMITED** - Granta Park, Great Abington, Cambridge, CB1 6AL, UNITED KINGDOM
- 2. MILTECH HELLAS S.A.** - I. Metaxa Street, Nisiza Karellas, 190 02 Industrial Zone, Koropi 19002, GREECE
- 3. TECHNICAL SOFTWARE CONSULTANTS LTD** - 6 Mill Square, Featherstone Road, Wolverton Mill, Milton Keynes MK12 5RB, UNITED KINGDOM
- 4. BYTEST S.R.L.** - Via Pisa, 12/16, Volpiano - TO 10088, ITALY
- 5. INTERLAB INGENIERIA ELECTRONICA Y DE CONTROL S.A.** - C/ Maria Tubau 4-2, Madrid 28050, SPAIN
- 6. NUCLEAR ENGINEERING SERVICES LIMITED** - Nesl House, Ettingshall, Wolverhampton WV4 6JX, UNITED KINGDOM
- 7. VICINAY CADENAS SA** - Particular de Sagarduy 5, Bilbao, E-48080, SPAIN

8. PETROLEO BRASILEIRO SA - Quadra 7 - Cidade Univesitaria. Ilha do Fundao, Rio de Janeiro, BRAZIL

9. ZENON S.A. ROBOTICS AND INFORMATICS - 5 Kanari Street, Glyka Nera, Athens 15354, GREECE

10. NDT CONSULTANTS LIMITED - Middlemarch House, Siskin Drive, COVENTRY, WEST MIDLANDS CV3 4FJ, UNITED KINGDOM

Ruolo dei Partners nel progetto:

Org.	Tipo	Ruolo	Paese	Attività dell'azienda	Funzioni nel progetto
TWI	RES	RTD	UK	Organizzazione di ricerca e sviluppo tecnologico con notevole esperienza nello sviluppo di strumenti e metodi PND	Ricerca e sviluppo di tecniche, sensori e sistemi ACFM e PAUT, miniaturizzazione adattamento e marinizzazione per il varo del robot, prove di laboratorio in vasche per attività subacquee
Miltech	IND	SMEP	EL	Robotica, elettronica e telecomunicazioni per applicazioni speciali	Esperienza in robotica avanzata ed elettronica relativa.
TSC	IND	SMEP	UK	Costruttore di impianti ACFM per la ricerca di cricche sotto rivestimenti	Contributo allo sviluppo delle tecniche ACFM e relative sensori e sistemi
Bytest	IND	SMEP	I	Servizi PND	Esperienza in servizi PND offshore
Interlab	IND	SMEP	ES	Prodotti e servizi di innovazione tecnologica	Sviluppo del sistema ottico
NES	IND	SMEP	UK	Specialista in soluzioni per l'industria nucleare, con una divisione dedicata ai sistemi di pulizia ad altissima pressione.	Contributo allo sviluppo del sistema di pulizia delle catene
Vicinay	IND	OTH	ES	Costruttore di catenme da ormeggio per uso marino e impianti off-shore	Consulenza sui materiali, tipi di difetti e loro posizione e orientamento sulle catene, fornitura di campioni
Petrobras	IND	OTH	Brazil	Produzione, trasporto e raffinazione petrolio e gas	Consulenza sui difetti delle catene in esercizio, luogo di esecuzione prove in campo
Zenon	RES	RTD	EL	Ricerca in sviluppo in automazione, hardware, software e robotica	Contributo allo sviluppo del veicolo di ispezione anfibia
NDT Con	RES	RTD	UK	Consulenza in ricerca e sviluppo per l'automazione delle PND	Ricerca e sviluppo per l'interfaccia uomo-macchina

Legenda:

RES: istituto di ricerca, IND: industria; RTD: ricerca e sviluppo, SMEP: piccola-media industria, OTH: altri (potenziali utilizzatori)

Premessa (dalla proposta di progetto)

Le piattaforme galleggianti di produzione olio e gas sono tecnologicamente molto esigenti. Il clima, le onde e le maree contribuiscono a rendere la manutenzione di qualunque struttura molto difficile. Le catene sono ispezionate regolarmente per verificare le condizioni. Le normali procedure usate per l'ispezione di catene sono in accordo alla API RP 2FPS.

Intervalli di ispezione per catene secondo API RP 2FPS:

Anni in servizio Massimo intervallo fra ispezioni

0-3	36 mesi
4-10	24 mesi
Oltre 10	8 mesi

Inoltre i sistemi di ormeggio sono soggetti alle regole di classificazione di società come DNV, che richiedono sorveglianza annuale. Le ispezioni maggiori richiedono il controllo con metodi non distruttivi, visivo e con particelle magnetiche alla ricerca di cricche, corrosioni, distorsioni e rotture. L' API richiede anche una verifica dimensionale.

Limiti dei metodi di controllo correntemente applicati alle catene:

- Le catene devono essere recuperate a bordo per l'ispezione visiva, o spedite a speciali siti a terra per l'ispezione PND completa
- L'ispezione visiva sott'acqua che può essere condotta da sommozzatori, pone evidenti limitazioni e non include verifiche dimensionali né altre PND
- Le PND sono condotte in condizioni critiche. Anche in condizioni ottimali è stato dimostrato che ispezioni manuali rivelano solo parte delle indicazioni (50% secondo PANI trials)
- Le normali PND non possono rilevare cricche da fatica senza completa pulizia della catena e adeguata movimentazione degli anelli
- Le normali PND non producono registrazione oggettiva dei risultati

Questo progetto è finalizzato ad aumentare la probabilità di rilevamento al 90% attraverso lo sviluppo di tecniche PND migliorative e a ridurre la preparazione necessaria

Le principali innovazioni di questo progetto riguardano quanto segue:

- 1 Sviluppo di veicolo robot:
 - che può spostarsi lungo la catena in servizio sott'acqua che porta a bordo moduli per la pulizia delle superfici, l'esame visivo, le PND
 - che può essere comandato dalla piattaforma
 - che può muoversi fino a 100 m dal punto di partenza
 - che può localizzare l'anello di catena mediante sistema di posizionamento
- 2 Sviluppo di uno scanner robotizzato che possa tenere e movimentare i dispositivi di pulizia e le sonde PND
- 3 Sviluppo di un sistema di pulizia per catene che sia in grado di rimuovere le incrostazioni dalle superfici necessarie ai controlli, e non oltre
- 4 Miglioramento delle capacità del sistema video per misurare le dimensioni della catena e rilevare indicazioni anomale, oltre a permettere all'operatore di verificare la pulizia e le operazioni esecutive delle PND
- 5 Sviluppo di metodi e sensori PND che permettano l'ispezione degli anelli con la minima preparazione superficiale, basato sullo sviluppo di:
 - Sistemi e sonde ACFM avanzate capaci di rilevare cricche di fatica affioranti sulle superfici accessibili di ogni anello sotto un sottile strato di depositi marini. Una importante innovazione consiste nell'incrementata capacità di rilevare cricche prossime alle zone di contatto fra anelli senza eccessivi disturbi elettromagnetici e con misura della profondità delle cricche rilevate
 - Una tecnica avanzata ad Ultrasuoni per rilevare cricche sulle superfici nascoste dal contatto fra anelli evitando scansioni multiple della sonda. Una importante innovazione consiste nello sviluppo di una sonda Phased Array dedicata. Particolare attenzione deve essere posta nella focalizzazione del fascio ultrasonoro sulle superfici nascoste dal contatto fra anelli

Il programma di lavoro è stato suddiviso in parti come segue:

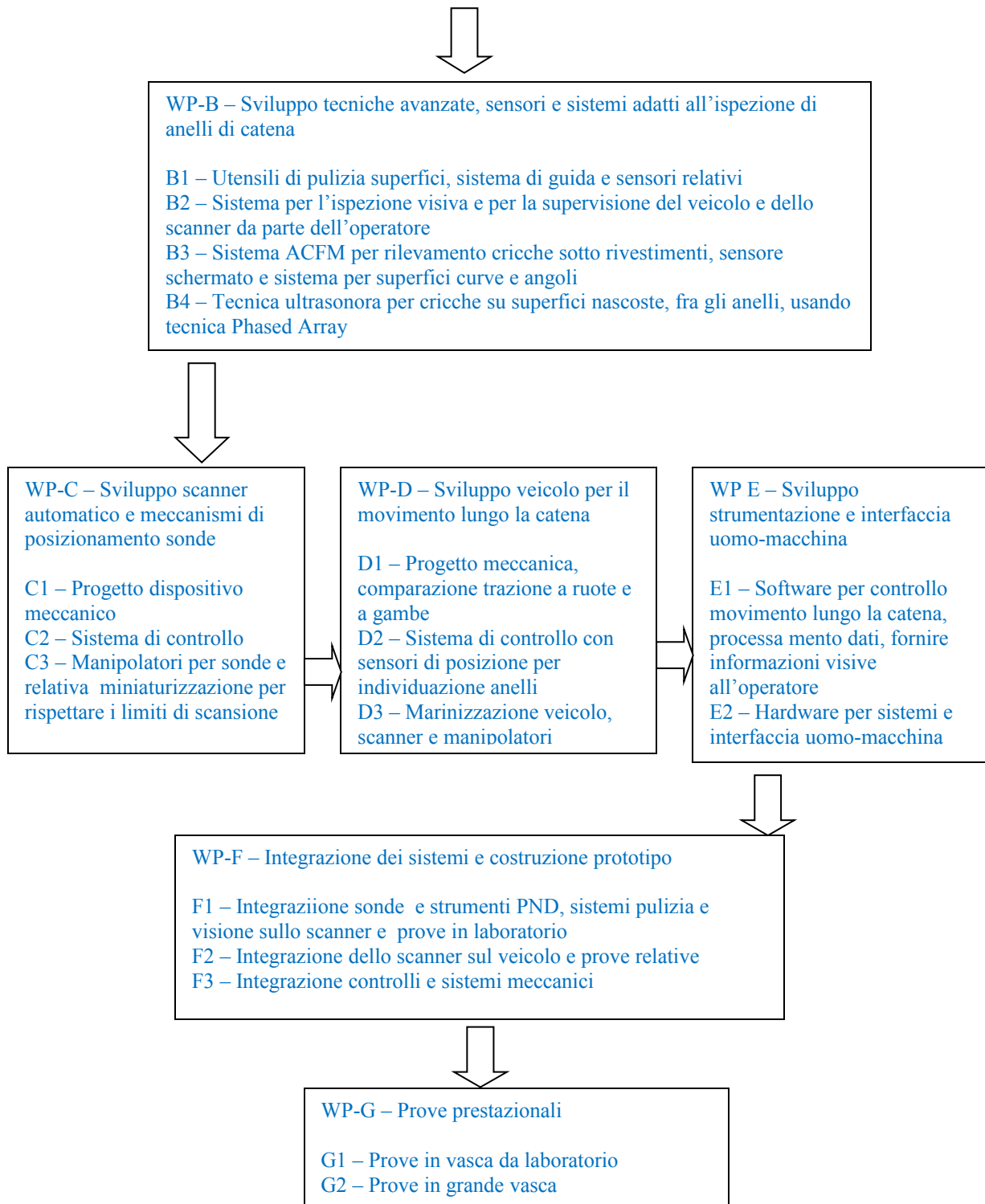
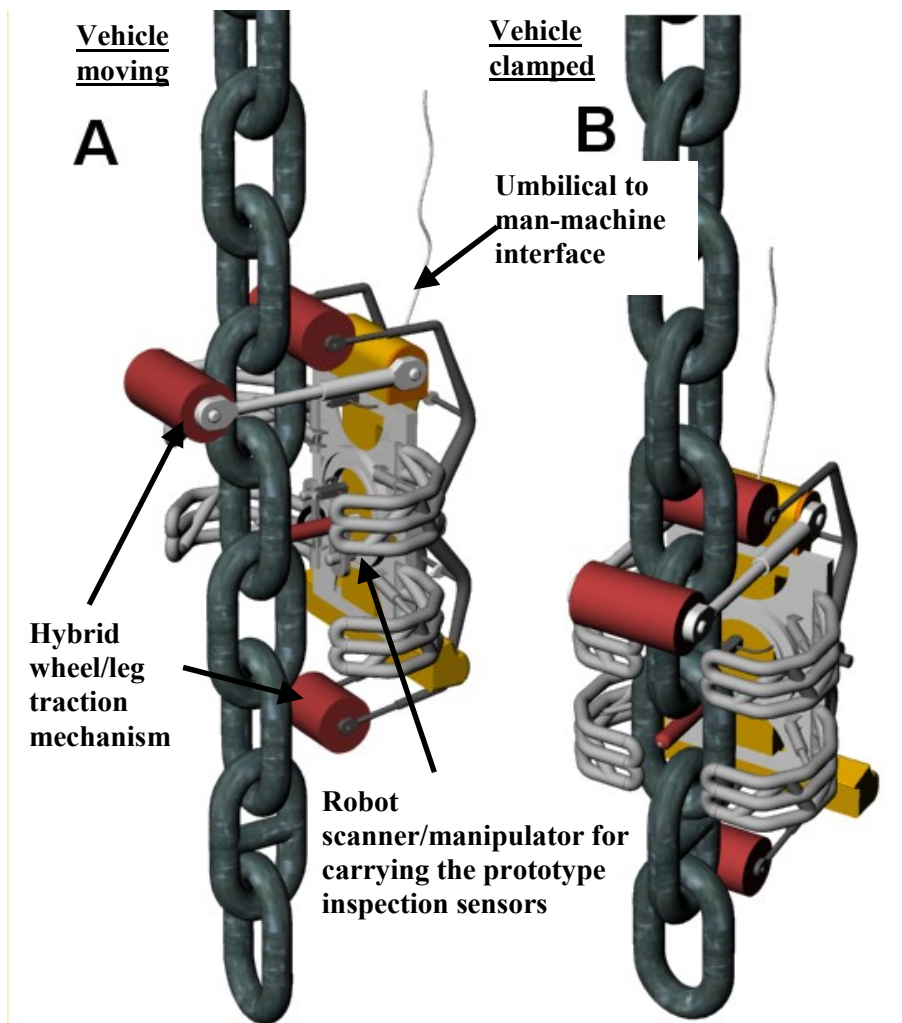


Fig. 1 - Schema concettuale del sistema come inizialmente immaginato:



Descrizione:

Il sistema Chaintest consiste in un robot automatico semovente che controlla le condizioni delle catene di ormeggio in sito muovendosi da un anello all'altro. Ad ogni anello un braccio del robot dirige un getto di acqua ad alta pressione sulla superficie rimuovendo le incrostazioni marine e preparando la superficie per le PND. Successivamente un braccio porta le sonde PND sulla superficie o in prossimità di essa in posizioni fisse o realizzando una scansione. Le tecniche PND usate sono Alternate Current Field Measurement (ACFM), esame visivo e dimensione remotizzato (VT), ultrasuoni Phased Array (PAUT). L'obiettivo del sistema è il controllo di ogni anello con rilievo dei fenomeni di erosione all'interfaccia fra anelli, cricche in saldatura e altrove nel corpo dell'anello, profonde intaccature superficiali.

Cricche

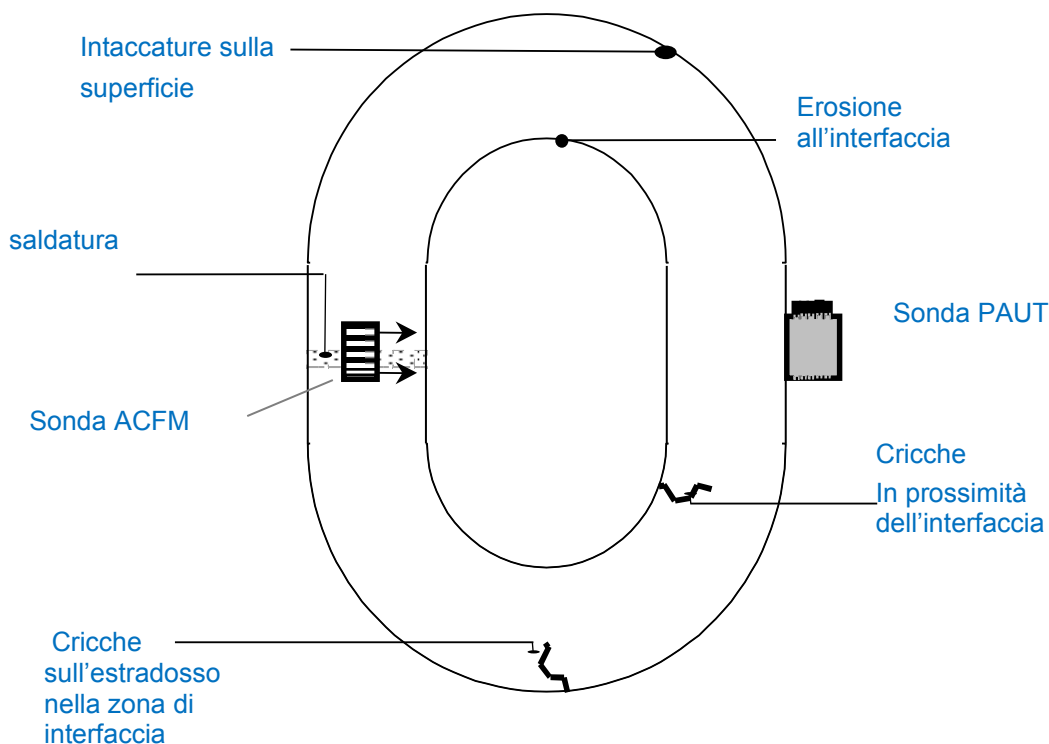
Lo scopo del progetto è rilevare cricche nella zona di contatto fra anelli o nelle sue vicinanze, come indicato in fig. 2, talvolta cricche provocano la rottura dell'anello in

corrispondenza della saldatura, ma questo è meno comune (l'ingegneria di esercizio riporta che una cricca in saldatura profonda 13 mm in un anello di diametro 76 mm, in acciaio grado k4, può portare alla rottura in servizio. Ciò corrisponde approssimativamente ad una perdita di sezione trasversale resistente pari a circa l'11%. Il modo di rottura più frequente consiste in rottura a fatica nell'area di interfaccia fra anelli e nelle sue vicinanze, dove fenomeni di "fretting" forniscono i necessari inneschi. Le superfici lisce create dallo sfregamento nell'interfaccia vera e propria riducono la concentrazione di tensioni, rendendo tali zone meno suscettibili alla nucleazione di cricche rispetto alle aree immediatamente adiacenti e meno soggette ad abrasione.

Erosione e intaccature



L'erosione nella sezione di interfaccia è causata dall'abrasione reciproca degli anelli adiacenti. Per monitorare il fenomeno si misura la lunghezza dell'interasse fra anelli che tende ad aumentare con la riduzione delle sezioni. Altri danni alla superficie esterna possono essere prodotti da inadeguata progettazione degli imbuti di scorrimento.

Fig. 2 Layout del sistema di controllo ChainTest (sistema di pulizia e video non rappresentati)



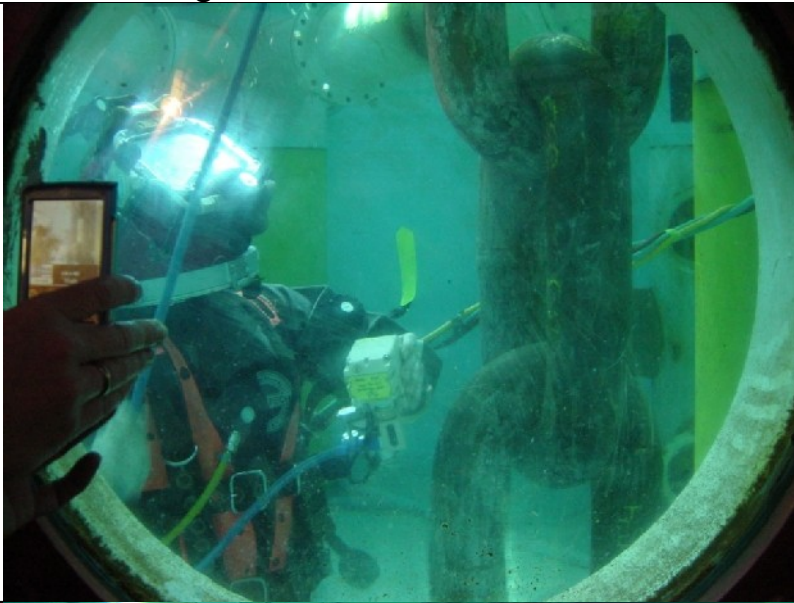
ATTIVITA' DI SVILUPPO CONDOTTE NELL'AMBITO DEL PROGETTO

Prove di pulizia superficiale mediante acqua ad altissima pressione effettuate da NES su un campione di catena proveniente dal servizio in campo (coperto da molte incrostazioni....) ha dimostrato l'efficienza del sistema sia in acqua che in aria.

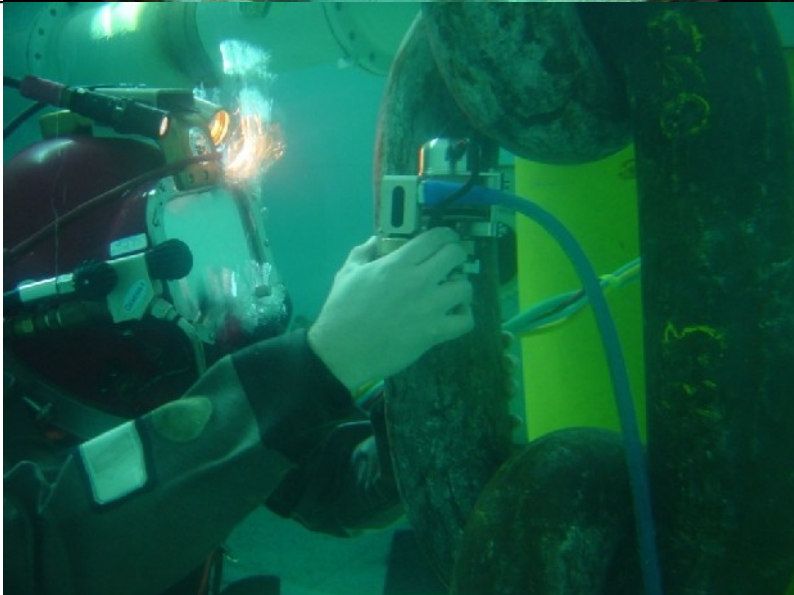
	Prima della pulizia
	Fascia pulita in unico passaggio

Parametri:- distanza, $Z = 50\text{mm}$
Dimensioni ugello 0.009"
Velocità trasversale = 3.27m / min
UHP pressione acqua = 50,000 psi

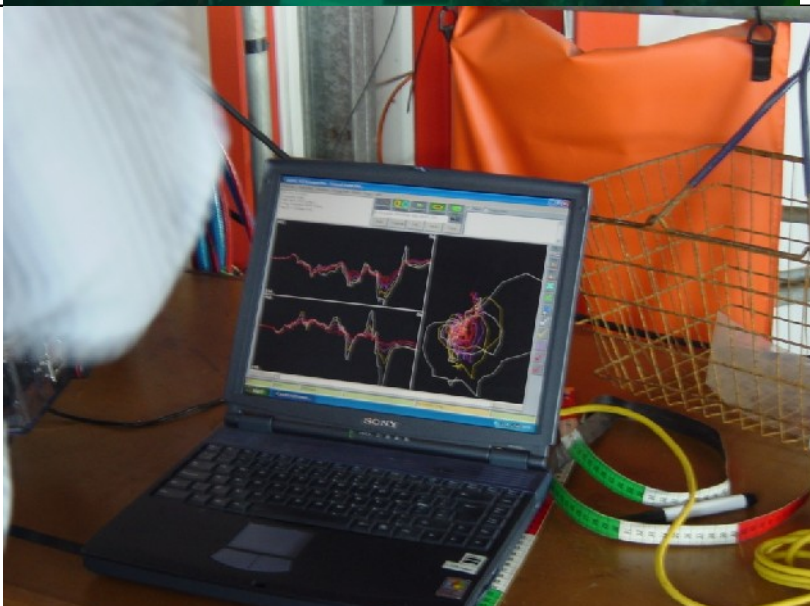
Prove ACFM condotte da TSC nella vasca per addestramento subacqueo del TWI a Middlesbrough



Sommozzatore si appresta al controllo



Sommozzatore esegue la scansione dell'anello



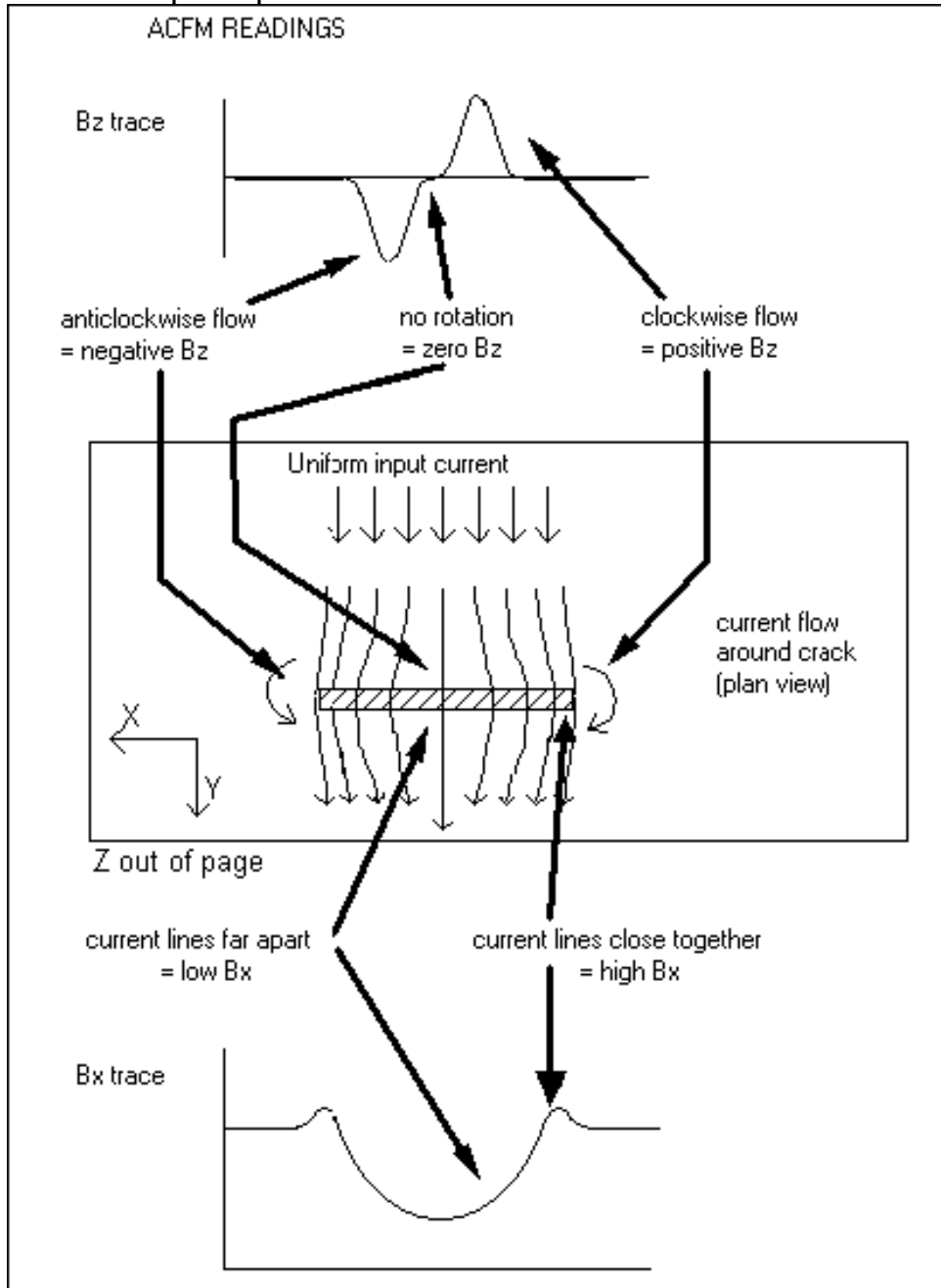
Segnali ACFM dai difetti artificiali

Il campione costituito da 5 anelli di diametro 111 mm conteneva tre intagli trasversali in saldaura con le seguenti dimensioni;

- 1 lunghezza 20 mm, profondità 2mm
- 2 lunghezza 41mm, profondità 5mm
- 3 lunghezza 60 mm, profondità 10mm

L'intaglio con dimensioni intermedie (2) è risultato rilevabile con sicurezza anche sott'acqua, mentre le prove in aria avevano permesso di rilevare, con qualche difficoltà, anche il più piccolo. Il risultato è stato soddisfacente in quanto il rilievo di indicazioni profonde 5 mm su anelli di queste dimensioni supera l'obiettivo del progetto.

Sintesi del principio di funzionamento del metodo ACFM:



Progetto di una soluzione Phased Array UT sviluppato al TWI:

Approccio al progetto

Modellizzazione dello scenario di controllo

Selezione dei parametri (frequenza, passo, dimensione sonda)

Rilevamento mediante scansione settoriale a onde trasversali

Dimensionamento mediante scansione settoriale a onde longitudinali per rilevare gli echi di diffrazione

La scansione settoriale permette il rilevamento di cricche in varie posizioni da una unica posizione sonda

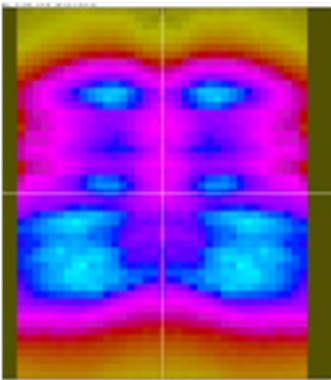
Modellazione del fascio nell'anello

La scelta cade su una sonda sagomata per la migliore geometria del fascio sulla parete di fondo

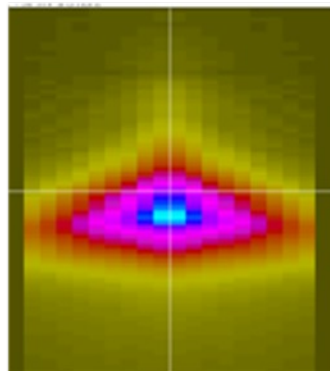
La geometria del fascio risulta migliore per una sonda sagomata in quanto non si verifica divergenza del fascio all'ingresso nell'anello

Si assicura inoltre una migliore soppressione del modo L indesiderato, lasciando solo il modo T per l'ispezione

Flat Probe



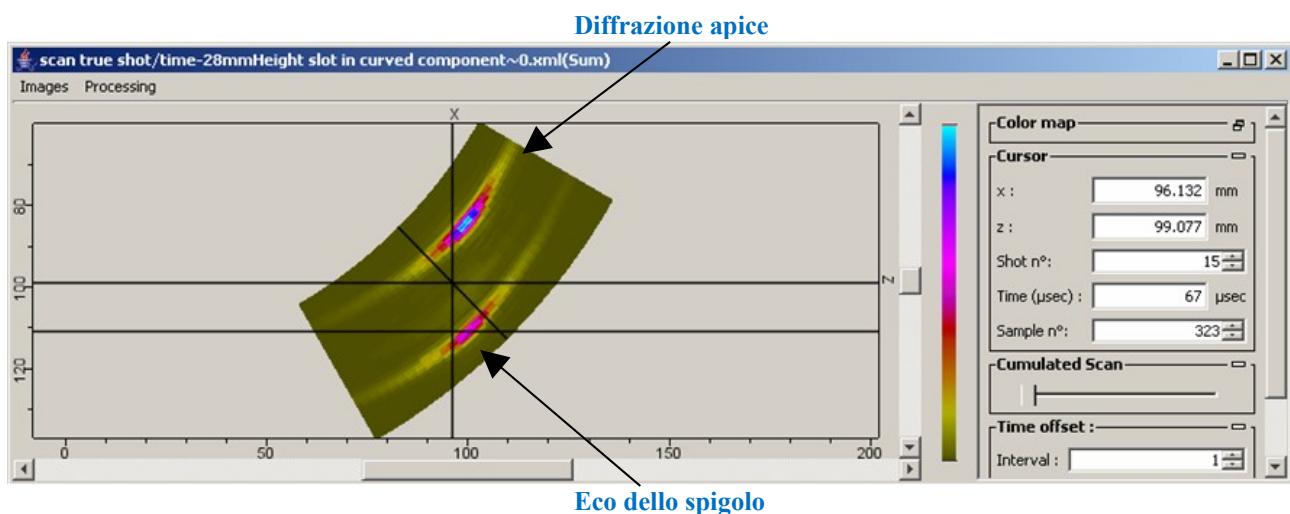
Curved Probe



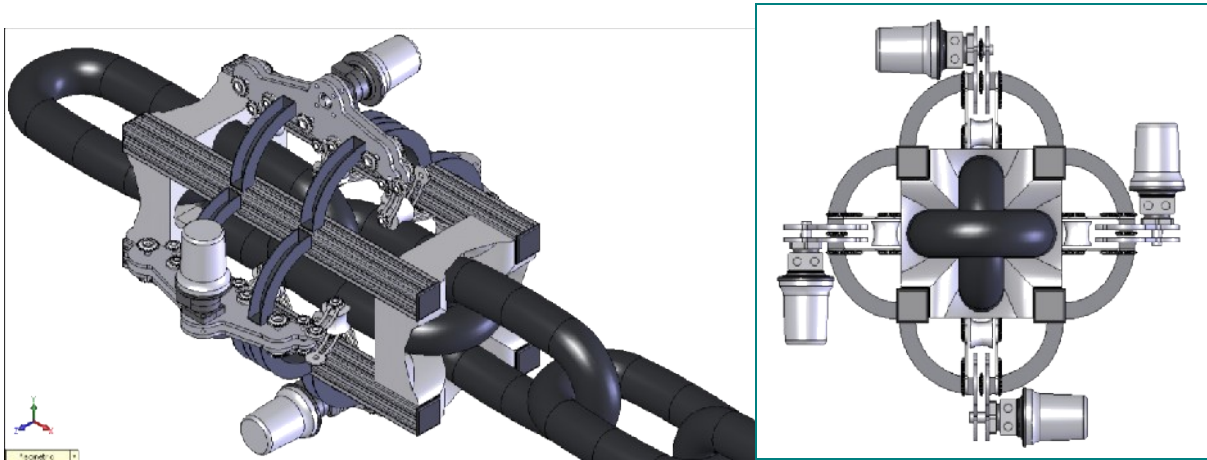
Modellazione dell'interazione del fascio con il difetto

Il difetto genera un eco di spigolo che sarà utilizzato per la rivelazione

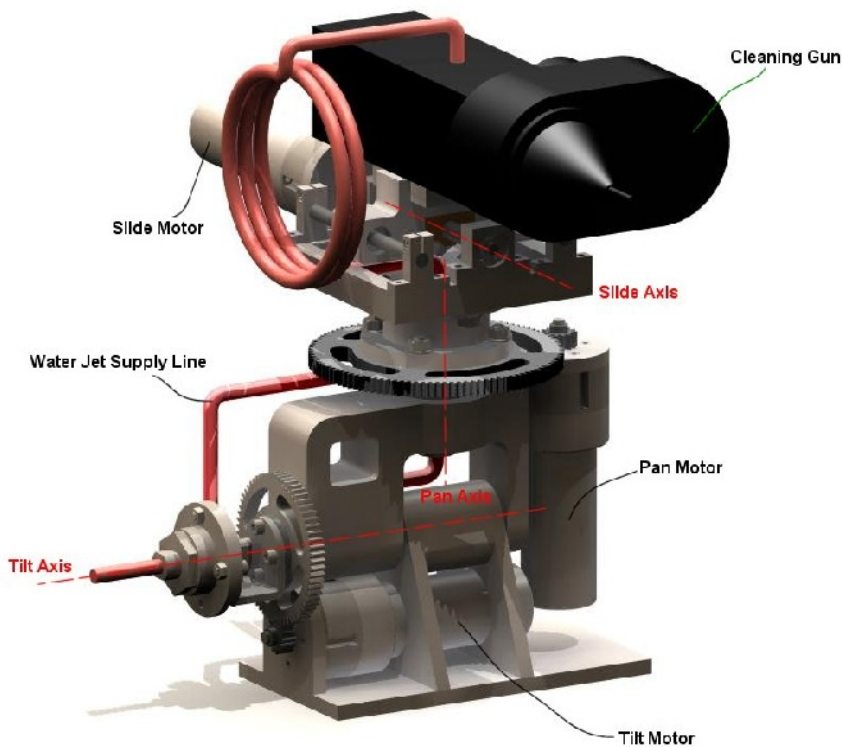
L'eco di diffrazione dall'apice sarà utilizzato per il dimensionamento



Dopo la discussione e risoluzione a un livello accettabile di numerosi problemi, il progetto del veicolo è evoluto come segue:



E il braccio di pulizia mediante getto d'acqua ad altissima pressione è così configurato :



L'integrazione del prototipo è in corso mentre scriviamo, e le prove di laboratorio saranno eseguite nei prossimi mesi. Qualche questione relativa a pesi, varo del sistema ed estensione delle prove da condurre con il prototipo è tuttora aperta, ma si sta avviando a positiva soluzione e noi speriamo di poter fornire ulteriori dettagli durante la discussione di questa memoria nel corso della Conferenza in Ottobre.