



# Panoramica sulla Applicazione della tecnica del “Pig intelligente” per il Controllo di Integrità di Oleodotti e Gasdotti

Andrea Bologna, Tecma Srl

## Introduzione

L’ispezione interna con pig intelligente è ormai una consolidata pratica di monitoraggio rivolta a garantire la sicurezza dell’esercizio e la piena produttività delle condotte adibite al trasporto di prodotti petroliferi.

L’ispezione in linea si avvale dei cosiddetti ‘pig intelligenti’ come veicolo di trasmissione per la applicazione dinamica di tecniche di controllo non-distruttivo direttamente sulla parete della condotta. Sono disponibili molte tecniche CND per l’ispezione in linea onde coprire una gamma difettologica piuttosto ampia. Generalmente parlando, l’ispezione in linea è il metodo più efficace per eseguire l’ispezione completa di una condotta con un elevato grado di risoluzione ed affidabilità.

## Pulizia Pre-ispettiva

La pulizia della superficie interna è considerata fondamentale per garantire l’efficacia della ispezione e massimizzare l’acquisizione dei dati ispettivi. In funzione delle caratteristiche della condotta, la Società di Ispezione insieme con l’Operatore devono impostare un programma di pulizia che preveda ripetuti passaggi di pig di pulizia. I risultati dei passaggi di pulizia vengono supervisionati dai tecnici specialisti della Società di Ispezione, sino a quando il grado di pulizia verrà ritenuto sufficiente tramite una attenta analisi dei detriti rimossi e delle condizioni dei pigs ricevuti.

### ESEMPI DI PULIZIA



**RIMOZIONE DEI SEDIMENTI PARAFFINOSI E DEL PRODOTTO DI CORROSIONE DOPO IL PASSAGGIO DI PIG DI PULIZIA**



**PROCESSO DI CORROSIONE INTERNA DA SOTTODEPOSITO VISIBILE DOPO LA PULIZIA PRE-ISPETTIVA**

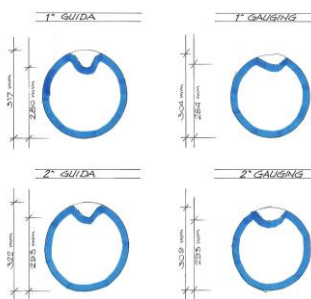
“Courtesy of TECMA”

## Pre-calibrazione della Linea



Speciali dischi di calibrazione in alluminio, consentono la verifica della presenza di riduzioni di diametro (ammaccature/ovalizzazioni) che possono pregiudicare il passaggio del pig intelligente. Una esperta valutazione degli eventuali segni consente

di poter accertare la presenza di eventuali





ammaccature consistenti presenti nella condotta. A tal punto la Società di Ispezione e l'Operatore della condotta potranno decidere se precedere l'ispezione diftoscopica impiegando un Pig intelligente in grado di individuare e misurare qualsiasi deformazione geometrica quale un Caliper Pig.

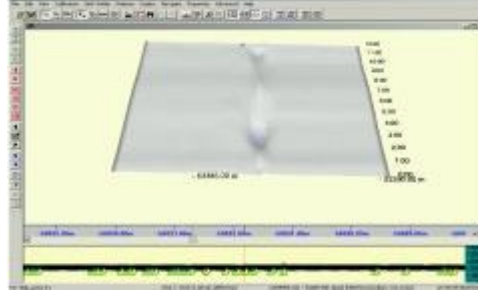
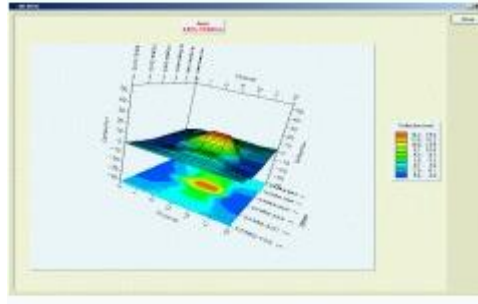
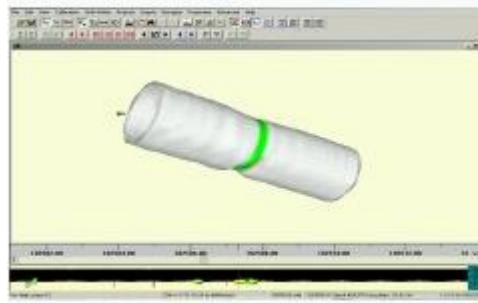
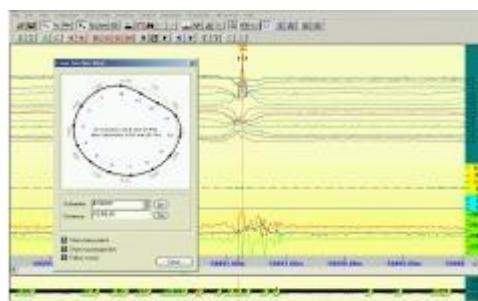
**Difetti Riportati**

Il Caliper Pig è uno strumento molto sensibile nel rilevare qualsiasi anomalia meccanica della condotta interagente sulla variazione del diametro interno .

La primaria applicazione del Caliper è comunque la detezione e misurazione di ammaccature, ovalizzazioni e curve. Inoltre il veicolo Caliper rileva tutte le riduzioni di diametro e le cause che hanno portato alla riduzione di diametro interno ( sovrassessori, saldature con eccessiva penetrazione, ecc..) Il Caliper è anche in grado di rilevare e dimensionare grinze, e depositi abnormi di detriti.

Esempio 1 - Ammaccature

*“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”*

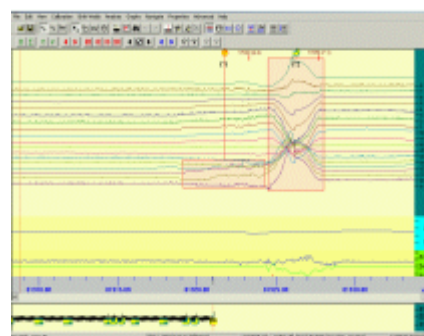




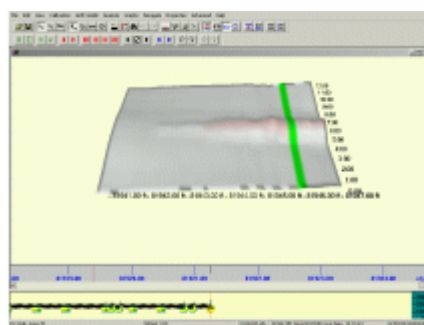
Esempio 2 – Detriti



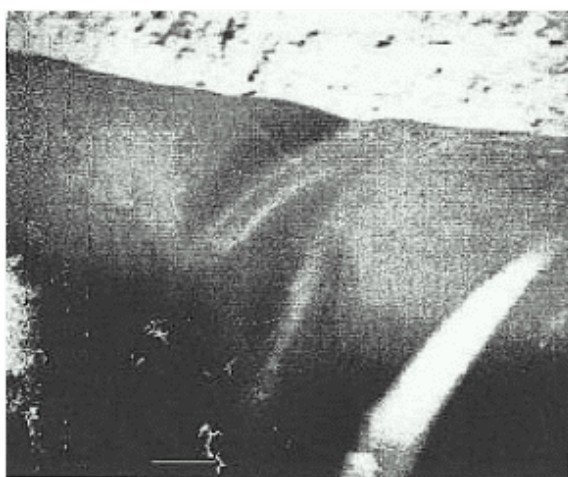
Depositi di sale indurite sedimentati a monte di una curva Stampata.



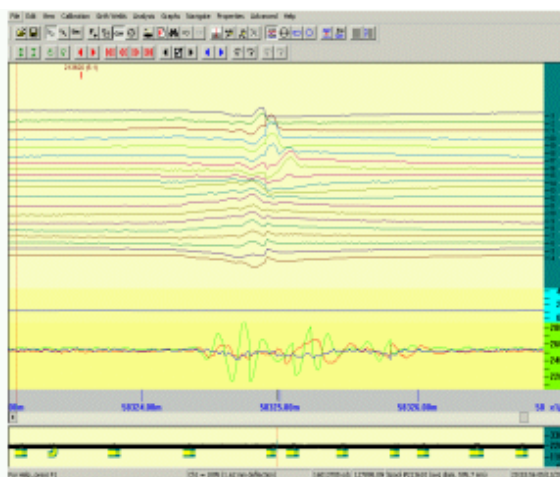
Dati di Ispezione



Esempio 3 – Grinze



Oleodotto di olio grezzo DN 24 con grinza



Schermata dei canali ispettivi

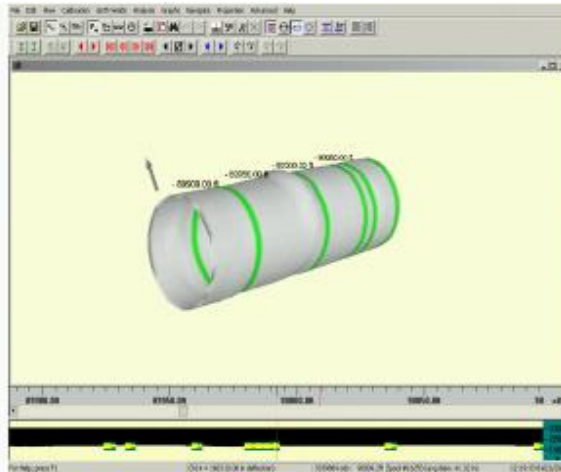
“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”



Esempio 4 – Deformazione a rigonfiamento



Deformazione localizzata



Visione del tubo 3D

Esempio 5 – Anomalia della Saldatura



Eccesso di penetrazione



Schermata dei canali ispettivi

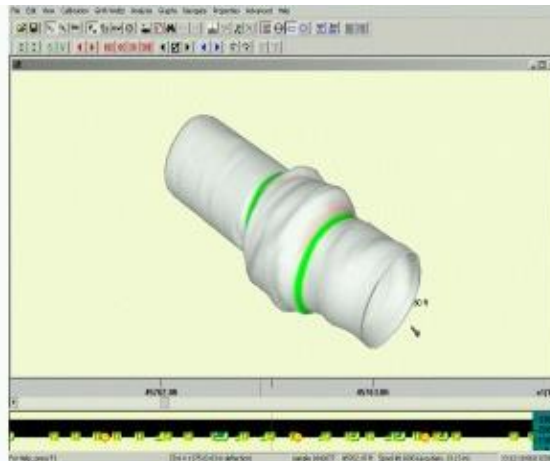
*“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”*



Esempio 6 – Presenza di installazioni non normalizzate



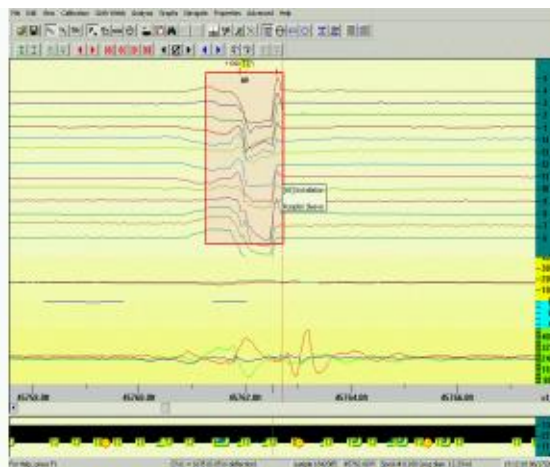
Giunto “a forma di zucca”



Visione del tubo 3D



Espansione Interna



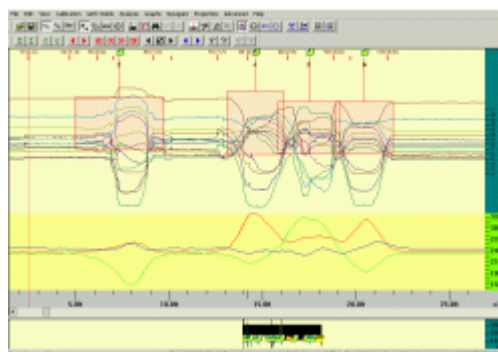
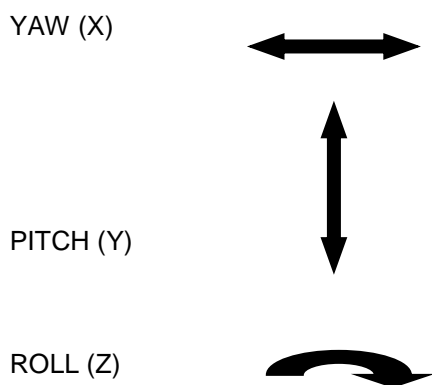
Schermata dei canali ispettivi

“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”



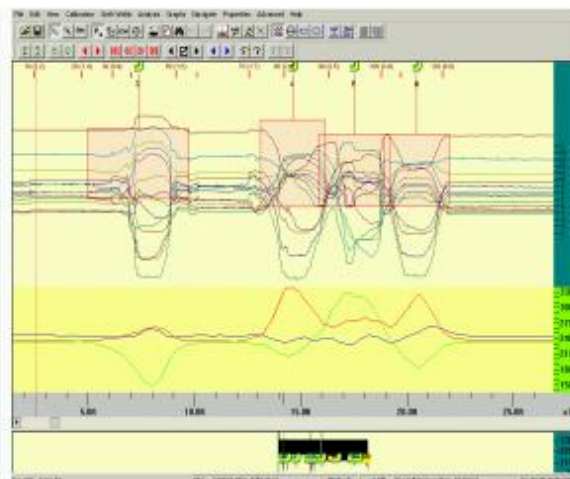
**Individuazione e misurazione delle Curve**

Il veicolo ispettivo CaliPPer è anche in grado di misurare di angoli ed il raggio delle curve. Tale utensile utilizza un giroscopio ad alta risoluzione per calcolare gli angoli sui tre differenti assi:



In mancanza del libro tubi originale della condotta, la verifica accurata delle curve è indispensabile per poter decidere se la condotta può accettare l'ispezione.

Curve adiacenti con angolazioni elevate e raggio di curvatura ridotto possono creare problemi ai Pig Intelligenti. L'unico strumento in grado di verificare questo è il Calipper in quanto dotato di giroscopio e ruote odometriche (contachilometri), i normali pig di calibrazione (con disco di alluminio) possono solo rilevare le riduzioni geometriche ma non sono in grado di stabilirne la posizione, natura ed esatta dimensione



Serie di curve e controcurve aventi raggio pari a 1,5D non conosciute.

Questo Utensile ispettivo è in grado di riportare accuratamente gli angoli, il raggio, la direzione e la distanza tra una curva e l'altra.

*“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”*



### **Ispezione In-Linea**

Una volta terminate le fasi preparatorie sopra elencate e la accurata valutazione delle informazioni acquisite durante il sopralluogo in campo e lo studio dei parametri tecnici e di esercizio della condotta forniti dall'Operatore, il Pig intelligente viene tarato e se necessario modificato specificatamente per l'ispezione dell'Impianto oggetto del controllo.

### **Ispezione metalloscopica a flusso magnetico disperso ad alta risoluzione (Magnescan)**

Per soddisfare in modo efficace le elevate esigenze di disponibilità, economicità e sicurezza delle "pipeline" vengono impiegati sempre più di frequente Pig intelligenti per il controllo preventivo. Si tratta di utensili spinti dal prodotto liquido o gassoso trasportati attraverso le tubazioni. L'obiettivo di un passaggio ispettivo è l'individuazione e la localizzazione precisa nella parete del tubo, di anomalie (punti di corrosione, difetti del materiale, ecc.); che potrebbero rappresentare un rischio per l'esercizio in sicurezza della tubazione.

L'ispezione delle linee con Pig intelligenti ha assunto una notevole importanza da quando le prime tubazioni hanno presentato un numero crescente di corrosioni, e perdite dovute a fori o rotture dopo esser state utilizzate per 20-30 anni.

L'importanza crescente degli aspetti ambientali ha fatto nascere una nuova filosofia nella sicurezza delle tubazioni: ispezioni regolari dovranno consentire un controllo continuo di tutti i processi corrosivi in corso nella condotta.

I Pig ispettivi della prima generazione che indicavano solo la presenza di una corrosione ma non il grado di corrosione si sono dimostrati insufficienti per questo scopo. E' diventato troppo costoso scavare a determinati intervalli nelle aree corrose conosciute di una condotta per effettuare un'ispezione esterna. Per questi motivi è stato assolutamente necessario sviluppare Pig ispettivi che fossero in grado di trasmettere dati molto precisi relativi al luogo e al grado di una corrosione e consentissero un controllo continuo dell'andamento di processi corrosivi.

Per questi motivi l'affidabile principio a flusso magnetico disperso già impiegato nei primi utensili è stato sviluppato ulteriormente per soddisfare queste esigenze e migliorare la sensibilità di misura e le capacità di rilevamento di questo tipo di Pig.

Il sistema ispettivo MFL ad alta risoluzione rileva la presenza ed il grado di perdite di metallo, distingue tra difetti interni ed esterni e registra cambiamenti dello spessore della parete. Le fasi principali dell'ispezione della condotta mediante il metodo a flusso magnetico disperso sono la magnetizzazione, la misurazione vera e propria e l'interpretazione dei dati.



### Difetti tipici individuati dal Pig MFL



Corrosion



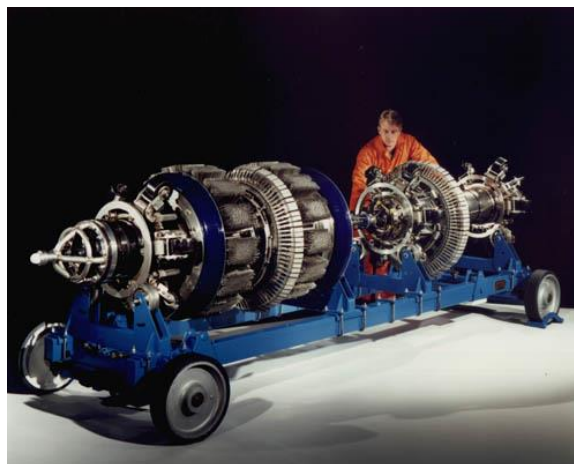
Contacting Metal Objects



Weld defects

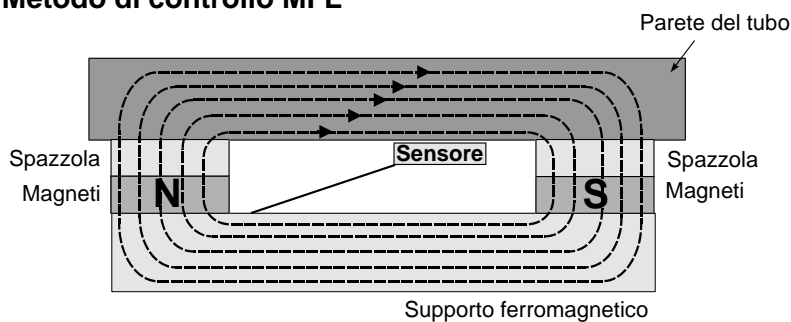


Dents & Gouging

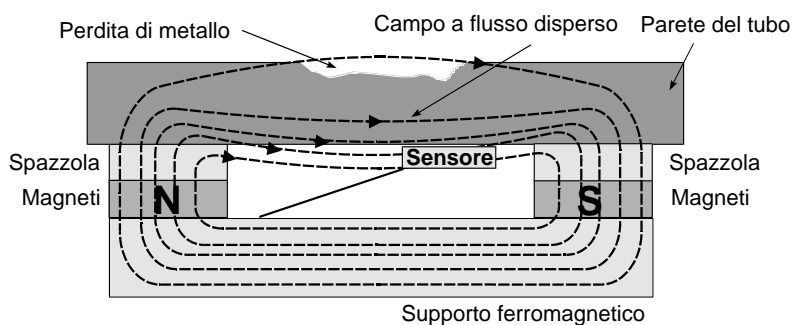


“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”

### Metodo di controllo MFL



a) Campo magnetico in una parete del tubo senza difetti



b) Campo a flusso disperso causato dalla perdita di metallo

- **Magnetizzazione.** Mentre l'utensile percorre la tubazione, il sistema di magnetizzazione induce un campo magnetico saturo nella parete della condotta, compreso tra i due poli di un magnete. La parete del tubo viene magnetizzata fin oltre il punto di saturazione per indurre, in caso di difetto, un flusso disperso abbastanza forte da essere misurato. Affinché il difetto possa essere rilevato e





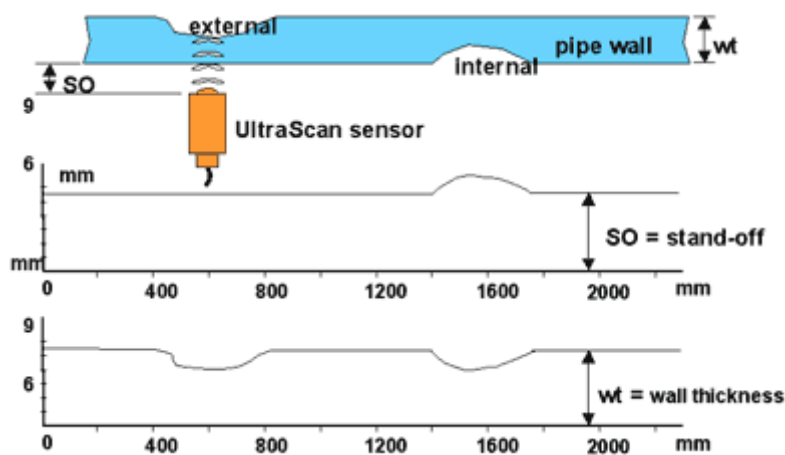
interpretato affidabilmente il campo magnetico deve essere distribuito uniformemente nella parete ed essere costante lungo la condotta.

Nel caso di una parete d'acciaio omogenea senza difetti a) nella figura sopra riportata le linee di forza sono invariate e distribuite uniformemente. Una perdita di metallo nella parete d'acciaio comporta una variazione della distribuzione delle linee di forza in modo tale che se la parete del tubo è saturata magneticamente esse fuoriescono dalla parete (flusso disperso) b) nella figura sopra riportata.

- **Misurazione.** Le caratteristiche del campo a flusso disperso dipendono dalla geometria della perdita di metallo. I sensori esplorano il campo a flusso disperso e trasformano le misure in segnali elettrici che vengono memorizzati e analizzati. Dall'intensità e dalla forma del campo a flusso disperso misurato si possono detrarre conclusioni circa le dimensioni e la forma della *'indicazione'*. I sensori sono configurati in modo che venga generata una quantità di dati tale da poter essere gestita e nello stesso tempo siano disponibili abbastanza dati per poter rilevare e caratterizzare le aree di perdita di metallo. I segnali di flusso disperso vengono elaborati ulteriormente da moderni microprocessori ed i dati risultanti vengono memorizzati per la successiva interpretazione computerizzata.
- **Interpretazione.** Mediante moderni metodi di analisi si detrae la geometria dell'area di perdita di metallo dal segnale misurato e si determinano la lunghezza, la larghezza e la profondità della perdita di metallo.

### Metodo di Controllo ad Ultrasuoni (UltraScan WM)

Le sonde Ultrasonore sono montate su un portasensori elastico che assicura corretto allineamento tra



ogni sensore e la parete della tubazione. Le sonde emettono impulsi ad alta frequenza che vengono riflessi (eco) come è proprio degli ultrasuoni, al cambiare dell'impedenza acustica dei materiali (interfacce). Si ottiene quindi una eco di riflesso sia dalla parete interna della tubazione che da quella esterna. Il tempo di arrivo degli eco-segnali indica direttamente quanto queste superfici si trovino distanti dai trasduttori. Nel caso incontrassimo una corrosione interna, la superficie interna della tubazione sarebbe ulteriormente distante dalla sonda

ed il tempo impiegato per ritornare dall'eco-segnale sarebbe quindi maggiore .

La tecnologia ad ultrasuoni fornisce quindi una misurazione diretta dello spessore di parete di una tubazione ed è in grado di localizzare e distinguere le perdite metalliche posizionate all'interno o all'esterno della tubazione oltre alla chiara individuazione di difetti interni di laminazione e inclusioni.

Molti Operatori adottano il sistema ispettivo ad ultrasuoni per eseguire ispezioni di "base-line" atte a confermare la qualità della fornitura prima della messa in esercizio.



Per permettere la propagazione degli impulsi ultrasonori, l'ispezione deve essere eseguita in una fase liquida ed omogenea. Per l'ispezione di un gasdotto questo veicolo deve essere contenuto all'interno di un tampone liquido.

UltraScan WM - Specifiche Tecniche:	
Diametro Nominale	6 - 60 pollici
Frequenza Ultrasuoni	5 MHz
Frequenza ripet. impulsi	300 Hz (600 Hz opzionale)
Range (varia secondo diam.)	62-620 miglia/ 100-1000 km
Velocità Utensile	2.6-7 ft/sec / 0.2-2 m/s
Minimo raggio curvatura	R=1.5xD
Risoluzione misurazione spessore parete	+/- 0.01 inch / +/- 0.2 mm
Precisione detezione profondità corrosione	+/- 0.02 inch / +/- 0.5 mm (media)
Risoluzione circonferenziale	Approx 0.3 inch / 8 mm (= spazio tra sensori)
Risoluzione longitudinale	3.3 mm at 1m/sec and 300Hz
Precisione localizzazione	+/- 7.8 poll. / 0.2 m da saldatura di riferimento

**Vantaggi:** Alta risoluzione, misurazione diretta dello spessore. Può misurare spessori molto elevati. Poco influenzato dalla geometria dei difetti.

**Svantaggi:** Necessita di accoppiamento liquido nelle linee di gas, richiede una pulizia approfondita della tubazione ed assenza di residui e di fasi miste. Velocità ispettiva < 2 m/s

“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”

## UTENSILE AD ULTRASUONI

**Pig Intelligenti: lo stato dell'arte**

Tecnologia Magnetica ad alta risoluzione  
MagneScan HR

Tecnologia ad Ultrasuoni

**Tecnologia ad Ultrasuoni**

Costola di sensori

**Vantaggi Utensile USWM :**

- Disegno speciale del porta-sensori in costruzione elastica
- stand-off costante
- allineamento perpendicolare dei sensori garantito
- copertura totale della circonferenza garantita anche durante l'attraversamento di curve a corto raggio (90° @ 1,5 D)

Courtesy of GE Energy

Courtesy of GE Energy



*“Courtesy of GE-PII Pipeline Solutions”*



*“Courtesy of TECMA”*

## Conclusioni

Ad oggi, sono disponibili diverse tecnologie ispettive per gli Operatori di “Pipelines”. Le ispezioni In-linea incorporano ora alcune tra le tecniche diagnostiche più sensibili e precise. L’alta frequenza di scansione permette anche alte velocità di percorrenza e quindi l’ispezione di tubazioni aventi lunghezze in eccesso di 300 km. Grazie alla disponibilità di questi utensili, l’Integrità delle condotte può essere gestita in modo tale che l’impatto degradante di fenomeni come la corrosione possa essere predetto e gestito in piena sicurezza.

Questa possibilità si estende ora sempre di più anche a quelle tubazioni, che costituiscono gran parte delle linee in esercizio, fino ad ora classificate come “non-piggabili” per mancanza di terminali di lancio/ricezione e/o limitazioni geometriche.