

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
- Sede di Forlì -

CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA
Classe: L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA
in
DIAGNOSTICA STRUTTURALE

“Controlli non distruttivi:
esecuzione del controllo radiografico di giunti
saldati, relativo ai recipienti a pressione V22, V23”

CANDIDATO
Maurizio Poletti

RELATORE:
Prof. Vincenzo Dalre

CORRELATORE
Ing. Michele Firmiani

Anno Accademico 2012/2013
Sessione I

INDICE

1	NORMATIVE	6
1.1	Norme Progettuali	7
1.2	Collaudi	7
1.2.1	Esami visivi	7
1.2.2	Esami radiografici	7
1.2.3	Esami ultrasonori	7
1.2.4	Esami con liquidi penetranti	8
1.2.5	Esami con particelle magnetiche	8
1.2.6	Prove di resilienza sulle saldature	8
1.2.7	Prove idrauliche	8
1.3	Qualifiche procedimenti di saldatura e qualifiche dei saldatori	8
1.3.1	qualifica della procedura di saldatura SMAW Tab. 2.2.1	10
1.3.2	qualifica della procedura di saldatura FCAW Tab. 2.2.2	11
1.3.3	qualifica della procedura di saldatura FCAW Tab. 2.2.3	12
1.3.4	qualifica della procedura di saldatura GTAW Tab. 2.2.4	13
2	PROGETTAZIONE	14
2.1	Introduzione	15
2.2	Dati di Progetto	15
2.3	Materiali e particolari dell'oggetto	16
2.3.1	Complessivo	16
2.3.2	Fasciame ed anelli di irrigidimento	16
2.3.3	Tubi	17
2.3.4	Forgiati	18
2.3.5	Tiranti e dadi	19
2.3.6	Guarnizioni	19
2.3.7	Interni	19
2.3.8	Esterno	20
2.4	Assemblaggio dei Serbatoi	20
2.5	Tumulazione con letto di Argilla	22
2.6	Analisi dei carichi	22
3	SALDATURE	24
3.1	Introduzione	25
3.2	La saldatura sarà eseguita mediante i procedimenti sottoindicati	25
3.3	Riepilogo WPS e PQR	27
3.4	Manuale con elettrodi rivestiti SMAW	28
3.4.1	Modalità di trasferimento dei materiale e caratteristiche del generatore:	29
3.4.2	Elettrodi utilizzati	30
3.4.3	Saldature con metodo SMAW	30
3.5	Manuale con elettrodo infusibile (TIG - GTAW) Generalità	36
3.5.1	Alimentazione elettrica e modalità di trasferimento dell'energia	38
3.5.2	Saldature con metodo GTAW	41
3.6	Automatico ad arco sommerso SAW	43
3.6.1	Sorgenti utilizzate e polarità di alimentazione	43

3.6.2	I flussi	44
3.6.3	Tecniche di accensione dell'arco	45
3.6.4	Vantaggi e svantaggi	45
3.6.5	Saldature con metodo SAW	46
3.7	Automatico con filo animato FCAW	49
3.7.1	Sorgenti	49
3.7.2	Applicazioni e vantaggi	49
3.7.3	Saldature con metodo FCAW	50
4	PROCEDURA RADIOGRAFICA PER SERBATOI DI STOCCAGGIO IN ACCORDO AL CODICE API STD 650	53
4.1	Argomento e Scopo	54
4.2	Generalità	54
4.3	Qualifica del Personale	54
4.4	Accessori	54
4.4.1	Raggi X	54
4.4.2	Raggi Gamma	55
4.5	Carta dell'esposizione per raggi X	56
4.5.1	Calibrazione	58
4.6	Pellicole	59
4.6.1	Astucci porta-pellicola	59
4.6.2	Contrasto della pellicola, rapidità, granulosità	59
4.6.3	Sviluppo della Pellicola	59
4.6.4	Pellicole usate	59
4.7	Schermi di Rinforzo	60
4.8	Radiazioni Retrodiffuse	61
4.9	Tecnica Radiografica	62
4.9.1	Accorgimenti fisici	62
4.9.2	Variabili dell'esposizione radiografica	62
4.9.3	Distanza fuoco-film	62
4.9.4	Disposizione dei Vari Componenti	63
4.10	Indicatori di Qualità di Immagine	66
4.10.1	I.Q.I. piatto	67
4.10.2	I.Q.I. a gradini	69
4.10.3	I.Q.I. a fili	70
5	ESAME DELLE RADIOGRAFIE	73
5.1	Sistemi di Identificazione	74
5.2	Nitidezza dell'Immagine Radiografica	74
5.3	Densità Radiografica	74
5.4	Esame delle Radiografie	75
5.4.1	Fasi dell'esame delle radiografie	75
5.4.1.1	Valutazione della sensibilità radiografica	75
5.4.1.2	Analisi delle indicazioni individuate sulla radiografia	75
5.4.1.3	Criteri di Accettabilità per L'esame Radiografico di Saldature	79
5.5	Esempi di Indicazioni in Lastre Radiografiche	86
5.6	Bibliografia e approfondimenti	89

Capitolo 1

Normative

2.1 Norme Progettuali: le strutture vengono calcolate e dimensionate col metodo della scienza delle costruzioni, in base alle seguenti norme di progetto:

- Norme UNI ENV 1993-1: "progettazione delle strutture in acciaio".
- D.M. 14 Gennaio 2008: "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 n. 617: "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 Gennaio 2008".
- Norme ASME VIII-DIVISIONE 1: "Rules for Construction of pressure Vessels".
- Legge 5 Novembre 1971 n° 1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione: CNR UNI 10011-88.
- Direttiva PED 97/23/CE.

2.2 Collaudi:

2.2.1 Esami visivi: l'esame visivo dovrà essere eseguito, in accordo alla norma UNI EN 970, su tutte le saldature. L'esame visivo dovrà riguardare anche la fase di fabbricazione, compreso l'assemblaggio iniziale e la preparazione della ripresa al rovescio (quando prevista). I criteri di accettabilità dovranno essere quelli previsti dalla norma UNI EN 5817 livello C.

2.2.2 Esami radiografici: il controllo radiografico delle saldature dovrà essere eseguito in accordo alla norma UNI EN 1435 Classe B. Tutte le saldature di testa dovranno essere radiografate al 100% ed i criteri di accettabilità dovranno essere quelli previsti dalla norma UNI EN 12517 livello 2. Dovrà essere presentata una specifica nella quale dovranno essere indicati tutti i parametri esecutivi ed un disegno di posizionamento delle radiografie completo con il giudizio sulle radiografie stesse. Le lastre radiografiche dovranno essere conservate per eventuali successive revisioni.

2.2.3 Esami ultrasonori: il controllo ultrasonoro dei giunti saldati dovrà essere eseguito in accordo alla norma UNI EN 1714 livello di controllo B. Tutte le saldature di testa ed a T a piena penetrazione dovranno essere esaminate con ultrasuoni al 100% ed i criteri di accettabilità dei difetti dovranno essere quelli previsti dalla norma UNI EN 1712 livello 2. L'esame dovrà essere eseguito dalla parte esterna del serbatoio.

2.2.4 Esami con liquidi penetranti: il controllo con liquidi penetranti dovrà essere eseguito in accordo alla norma UNI EN 571. Gli smussi preparati per le saldature di testa e per le saldature a T e d'angolo, dovranno essere controllati con liquidi penetranti (o, in alternativa, con particelle magnetiche) ed i criteri di accettabilità dei difetti dovranno essere quelli previsti dalla norma EN 1289 livello 2X.

2.2.5 Esami con particelle magnetiche: il controllo con particelle magnetiche dovrà essere eseguito in accordo alla norma UNI EN 1290. Gli smussi preparati per le saldature di testa e per le saldature a T e d'angolo dovranno essere controllati con particelle magnetiche (o, in alternativa, con liquidi penetranti). I giunti saldati manualmente e quelli provvisori a valle della pulizia/molatura dovranno essere controllati al 100% con particelle magnetiche. L'esame con particelle magnetiche dovrà essere eseguita sul 10% dei giunti totali. Le saldature a T a piena penetrazione e le saldature ad angolo dovranno essere controllate, a saldatura ultimata, con particelle magnetiche. I criteri di accettabilità dei difetti dovranno essere quelli previsti dalla norma UNI EN 1291 livello 2X.

2.2.6 Prove di resilienza sulle saldature: le prove di resilienza dovranno essere eseguite su provette Charpy V, in accordo alla norma UNI EN 10045-1. Le prove di resilienza dovranno essere eseguite sui saggi di qualifica dei procedimenti di saldatura e sui talloni di verifica alla temperatura di -10° C. Sono richieste tre provette per ogni zona del giunto: materiale base, zona fusa e zona termicamente alterata. La media dei valori della resilienza corrispondenti alle tre provette non dovrà essere inferiore a 27 J. Solo il valore corrispondente ad una provetta potrà essere inferiore al valore minimo richiesto, ma non inferiore al 70% dello stesso.

2.2.7 Prove idrauliche: dopo il completamento i serbatoi dovranno essere sottoposti a prova idraulica tassativamente su basamento definitivo ed in assenza di rivestimento esterno alla pressione prescritta dalla Direttiva PED 97/23/CE. Le selle di sostegno provvisorie utilizzate durante la prova dovranno essere progettate per i carichi previsti (sisma, vento, peso, deformazioni, ecc) per poter procedere con le operazioni e le attività circostanti durante tutto il periodo interessato. Al termine delle prove i serbatoi dovranno essere opportunamente ripuliti.

2.3 Qualifiche procedimenti di saldatura e qualifiche dei saldatori: per la costruzione di manufatti saldati è indispensabile che le aziende costruttrici siano in possesso di procedimenti di saldatura e saldatori qualificati, in riferimento alle normative vigenti (ASME, Americane ed EN, Europee). Tali qualifiche devono essere rilasciate da un Ente Terzo Riconosciuto, come TÜV Rheinland.

Qualifiche Procedimenti: l'ottenimento di una qualifica di un procedimento di saldatura consta di diverse fasi, sotto la supervisione dell'Ente Terzo Riconosciuto:

- a) Stesura di una specifica di saldatura WPS, sulla base della quale verrà eseguito il saggio di saldatura.
- b) Esecuzione di un saggio di saldatura sotto la supervisione del tecnico autorizzato ed incaricato dall'Ente, in base alla WPS, alle esigenze ed alle normative applicabili.
- c) Esecuzione sul saggio di saldatura di CND e prove di laboratorio richieste dalle

normative applicabili e dalle eventuali specifiche contrattuali.

A seguito dell'esito positivo dei CND e delle prove, si procede alla compilazione della qualifica di procedimento di saldatura denominata PQR (Procedure Qualification Record), nel caso in cui la normativa applicabile sia ASME IX, o WPQR (Welding Procedure Qualification Record) nel caso in cui siano applicabili le normative EN. La qualifica prende valore nel momento in cui il documento, PQR o WPQR, viene sottoscritto dal tecnico autorizzato ed incaricato dall'ente.

Qualifiche saldatori e operatori di saldatura: la qualificazione di un saldatore o di un operatore di saldatura può essere eseguita o meno contestualmente alla qualifica del procedimento di saldatura. Le prove a cui un saggio di saldatura deve essere sottoposto per qualificare un procedimento sono normalmente più che sufficienti ad ottenere la qualifica del saldatore o dell'operatore di saldatura.

Il saldatore, è così definito quando utilizza procedimenti di saldatura manuali, per cui il saldatore stesso maneggia direttamente il materiale d'apporto, come TIG (141 / GTAW), elettrodo (111 / SMAW), MIG / MAG (135 / GMAW e 136 / FCAW); l'operatore di saldatura è così definito quando utilizza procedimenti di saldatura semi automatici o completamente meccanizzati come l'Arco Sommerso (121 / SAW).

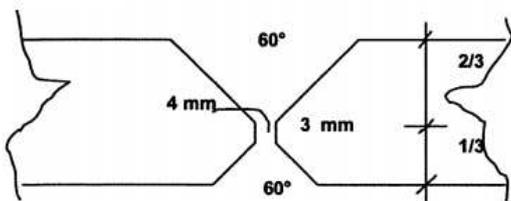
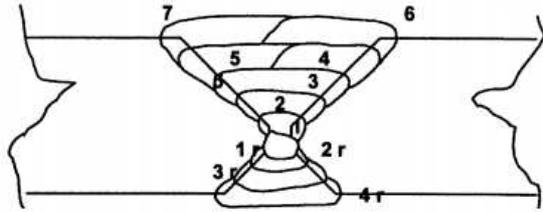
A seguito dell'esito positivo dei CND e delle prove, si procede alla compilazione della qualifica del saldatore o dell'operatore di saldatura. La qualifica ha valore nel momento in cui il documento viene sottoscritto dal tecnico autorizzato ed incaricato dall'Ente.

2.3.1 Qualifica della procedura di saldatura SMAW (Tab. 2.2.1.)

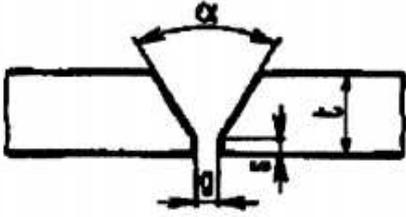
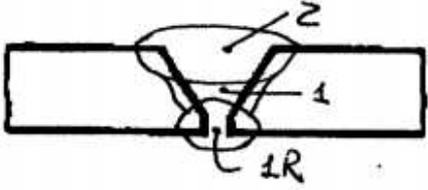
2.3.2 Qualifica della procedura di saldatura FCAW (Tab. 2.2.2.)

2.3.3 Qualifica della procedura di saldatura SAW (Tab. 2.2.3.)

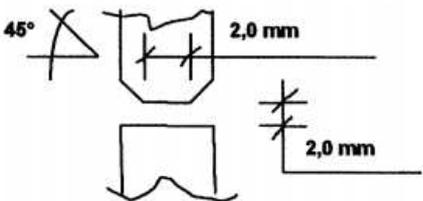
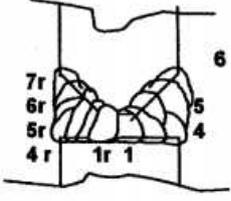
2.3.4 Qualifica della procedura di saldatura GTAW (Tab. 2.2.4.)

Procedimento: SMAW					
					
metallo base	SA 516 Gr.70	Gamma di spessori: scanalatura (mm)		4,8÷42,0	
elettrodo	OK 48,50	Tipo di polarità		DC-RP	
Dim. metallo d'app. per passate consecutive (mm)	3,2 / 4 / 5	Amp. Range (A)		110÷230	
Velocità di traslazione (mm/min.)	57÷95	Volt range (V)		22÷26	
Prova di trazione					
N° provino	Largh. mm	Spessore mm	Area mm ²	Carico totale di rottura KN	Carico unitario di rottura N/mm ²
1	19	21	399	239,5	600
2	19	21,2	402,8	240,5	597
Prova di piega					
Lato piega n°1			soddisfacente		
Lato piega n°2			soddisfacente		
Lato piega n°3			soddisfacente		
Lato piega n°4			soddisfacente		
Prova di resilienza					
N° provino	Pos. intaglio	dimensioni	Temp. test	Joule	
1	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	148/198/204	
2	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	218/243/237	

Tab. 2.2.1

Procedimento: FCAW					
					
metallo base	SA 516 Gr.70		Gamma di spessori: scanalatura (mm)	12÷24	
elettrodo	OK tubroad 15.14		Tipo di polarità	DC	
Dim. metallo d'app. per passate consecutive (mm)	1,2		Amp. Range (A)	145÷150	
Velocità di traslazione (mm/min.)	80÷110		Volt range (V)	23÷24	
Prova di trazione					
N° provino	Largh. mm	Spessore mm	Area mm²	Carico totale di rottura KN	Carico unitario di rottura N/mm²
1	19,1	11,3	215,8	112,5	521
2	19	11,6	220,4	114	517
Prova di piega					
Lato piega n°1			180° soddisfacente		
Lato piega n°2			180° soddisfacente		
Lato piega n°3			180° soddisfacente		
Lato piega n°4			180° soddisfacente		
Prova di resilienza					
N° provino	Pos. intaglio	dimensioni	Temp. test	Joule	
1	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	184/142/212	
2	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	185/192/196	

Tab. 2.2.2

Procedimento: SAW					
					
metallo base	SA 516 Gr.70		Gamma di spessori: scanalatura (mm)	4,8÷45	
elettrodo	L 61		Tipo di polarità	DC	
Dim. metallo d'app. per passate consecutive (mm)	3,2		Amp. Range (A)	300÷400 A	
Velocità di traslazione (mm/min.)	350÷600		Volt range (V)	25÷26 V	
Prova di trazione					
N° provino	Largh. mm	Spessore mm	Area mm²	Carico totale di rottura KN	Carico unitario di rottura N/mm²
1	19,1	21,5	410,6	237	577
2	19	22,1	419,9	241,5	575
Prova di piega					
Lato piega n°1			soddisfacente		
Lato piega n°2			soddisfacente		
Lato piega n°3			soddisfacente		
Lato piega n°4			soddisfacente		
Prova di resilienza					
N° provino	Pos. intaglio	dimensioni	Temp. test	Joule	
1	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	69/81/11	
2	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	360/320/310	

Tab. 2.2.3

Procedimento: GTAW					
metallo base	SA 516 Gr.70		Gamma di spessori: scanalatura (mm)	1,5÷10	
elettrodo	OK TIGROD 12.60 ESAB		Tipo di polarità	DC	
Dim. metallo d'app. per passate consecutive (mm)	2,4		Amp. Range (A)	110÷140	
Velocità di traslazione (mm/min.)	manuale		Volt range (V)	14÷24 V	
Prova di trazione					
N° provino	Largh. mm	Spessore mm	Area mm²	Carico totale di rottura KN	Carico unitario di rottura N/mm²
1	19	4,3	81,7	40	489
2	19	4,5	85,5	42	491
Prova di piega					
Lato piega n°1			soddisfacente		
Lato piega n°2			soddisfacente		
Lato piega n°3			soddisfacente		
Lato piega n°4			soddisfacente		
Prova di resilienza					
N° provino	Pos. intaglio	dimensioni	Temp. test	Joule	
1	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	33/36/39	
2	Weld Metal	10x10x55	-20 °C	41/37/40	

Tab. 2.2.4

Capitolo 2

Progettazione

2.1 Introduzione: i serbatoi dovranno essere dimensionati meccanicamente tenendo conto dei seguenti carichi :

- Pressione di progetto interna ed esterna.
- Peso del serbatoio.
- Peso del liquido contenuto nel serbatoio.
- Carico dovuto al terreno di tumulazione.
- Carichi dovuti alla disuniformità del letto di sabbia.
- Carichi dovuti all'espansione termica (è necessario considerare anche l'attrito).
- Carichi agenti sulle connessioni dovuti alle linee collegate.
- Carico dovuto all'azione sismica.

Sono necessari anelli di irrigidimento (fasciame) per limitare la deformazione della struttura a causa dei carichi a cui è sottoposta. Il valore massimo dell'ovalizzazione delle virole cilindriche, calcolato con la formula; $u = 200 (D_i \max - D_i \min) / (D_i \max + D_i \min)$, non dovrà essere superiore allo 0.5% ($D_i \max$ e $D_i \min$ sono i diametri interni massimo e minimo misurati sulla sezione della virola in oggetto). Non sono ammesse saldature longitudinali delle virole nella parte inferiore dei serbatoi per un'ampiezza di 120° .

2.2 Dati di Progetto:

- Sigla serbatoi V22/V23.
- Capacità $3000,0 \text{ m}^3$.
- Diametro interno $8000,0 \text{ mm}$.
- Lunghezza totale serbatoi $63040,0 \text{ mm}$.
- Lunghezza mantello cilindrico $55000,0 \text{ mm}$.
- Altezza esterna del fondo $4020,0 \text{ mm}$.

- Pressione interna di progetto $7,0000 \text{ bar}$.
- Pressione esterna di progetto $1,0132 \text{ bar}$.
- Pressione interna di collaudo $10,0100 \text{ bar}$.

- Temperatura esterna massima 35 C° .
- Temperatura esterna minima -6 C° .
- Temperatura massima di progetto 50 C° .
- Temperatura minima di progetto -10 C° .
- Temperatura di collaudo idraulico 20 C° .

- Fluido contenuto in progetto: raffinato 1 / butene 1.
- Peso specifico 600 Kg/m^3 .

- Fluido contenuto in collaudo: acqua.
- Peso specifico 1000 Kg/m^3 .

- Materiale di ricoprimento: Sabbia.
- Peso specifico di progetto 2000 Kg/m^3 .
- altezza minima di ricoprimento 500 mm .
- altezza massima di ricoprimento 650 mm .

- Sovraccarico neve 1500 N/m^2 .

2.3 Materiali e particolari dell'oggetto: tutte le membrature in pressione sono fabbricate in acciaio al carbonio calmato. I componenti e il serbatoio sono fabbricati con il medesimo materiale, acciaio a bassa percentuale di carbonio (Fe 510 Tab. 2.2.1). L'acciaio si presta bene al taglio al plasma (per i vari componenti), a lavorazioni plastiche a freddo come la calandratura (per le virole). Per il medesimo materiale (Fe 510) corrispondono due nomenclature differenti SA 516 Gr. 70 e SA 350 Gr. LF2, il primo corrisponde a un grezzo ottenuto tramite laminazione, il secondo corrisponde a un grezzo ottenuto per fucinatura.

COMPOSIZIONE CHIMICA Fe 510

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	V
≤0,35	0,60÷1,05	0,10÷0,35	≤0,30	≤0,40	≤0,12	≤0,40	≤0,02	≤0,05

Tab. 2.2.1

2.3.1 Complessivo: Fig. 2.2.1

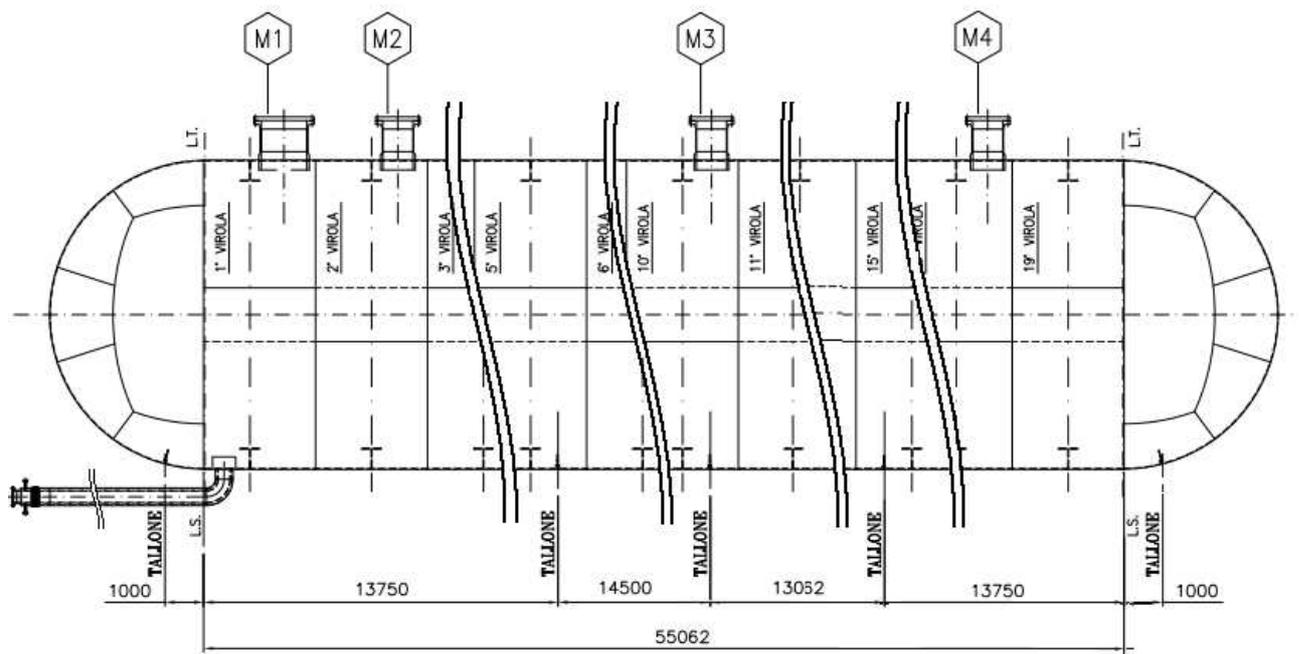


Fig. 2.2.1

2.3.2 Fasciame ed anelli di irrigidimento:

- Lamiere saldate in acciaio SA-516 Gr70.
 - Carico di rottura $485,00 \text{ N/mm}^2$.
 - Carico di snervamento a temperatura ambiente $260,00 \text{ N/mm}^2$.
 - Carico di snervamento alla temperatura di progetto $255,60 \text{ N/mm}^2$.
 - Modulo elasticità alla temperatura di progetto 200666 N/mm^2 .
 - Modulo di elasticità alla temperatura di collaudo 202000 N/mm^2 .

Nel settore circolare posizionato nella parte inferiore sono stati praticati 3 fori, necessari per permettere al liquido di scorrere, lungo tutta la lunghezza del serbatoio.

Dall'esperienza maturata con altri serbatoi uguali, precedentemente costruiti, si è notato che i punti saldati vicino al foro sono sede di cricche, generate dai cicli di pressione a cui è sottoposto il serbatoio. Per questo motivo si è scelto di realizzare 3 fori, anzichè uno, come nei serbatoi "vecchi". Vedi schema (Fig. 2.2.2).

FORI REALIZZATI NELLA PARTE INFERIORE DEGLI ANELLI DI IRRIGIDIMENTO

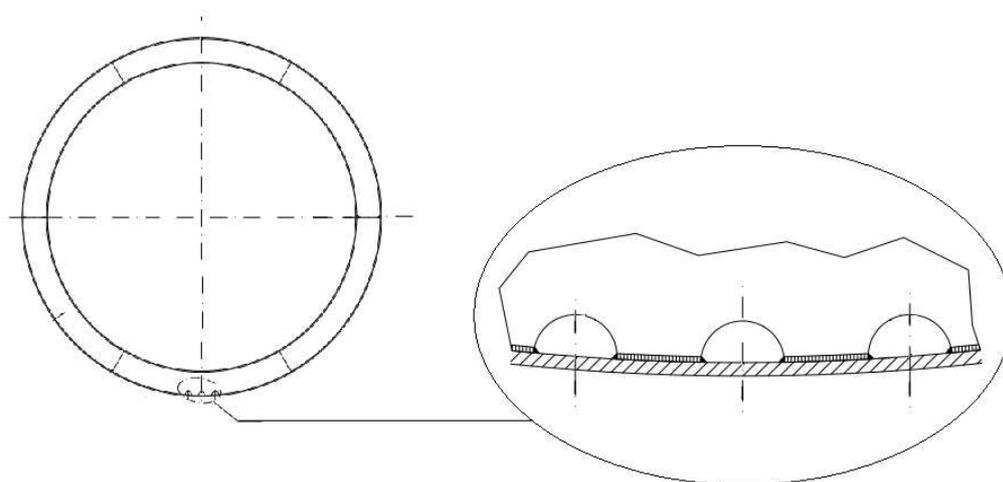


Fig. 2.2.2

2.3.3 Tubi: il materiale dei tubi dovrà avere un contenuto di carbonio non superiore allo 0.45%. Nella Fig. 2.2.3 vediamo il tubo di scarico: il bocchello N1 serve a collegare il serbatoio al gruppo di pompaggio, posto sotto battente a causa della bassa pressione di saturazione del liquido contenuto nel serbatoio. Si può notare che la tubazione è "incamiciata" cioè un tubo di diametro maggiore avvolge il tubo principale, nell'intercapedine che si viene a formare tra i due tubi ,viene inserito un gas inerte tramite il bocchello N5. Il bocchello N6 serve per il drenaggio della camicia. Il tubo esterno è dotato di un giunto " G " inserito per compensare le dilatazioni lineari dovute alle variazioni di pressione e temperatura. L'intero serbatoio, per disposizione di legge, deve essere esente dal contatto con aria e per questo viene tumulato, l'unico elemento che non può essere ricoperto con terra è questo tubo, necessario al collegamento con il gruppo pompaggio.

Per questo motivo viene incamiciato cosichè a contatto con la tubazione primaria vi sia gas inerte e non aria.

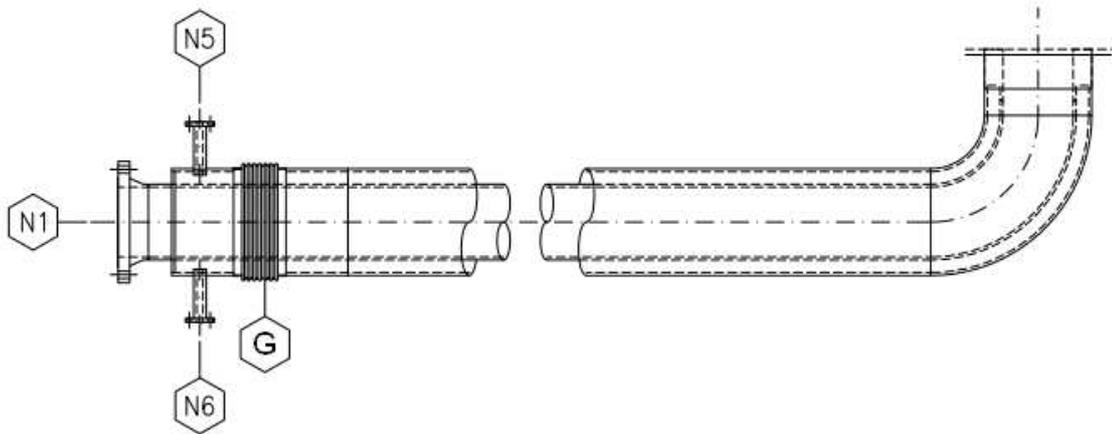


Fig. 2.2.3

2.3.4 Forgiati: i forgiati comprendono bocchelli e passi d'uomo (Fig. 2.2.4). Il materiale dei forgiati dovrà essere in accordo alla specifica ASTM A 105 (SA 350 Gr. LF2). Il contenuto di carbonio non dovrà superare lo 0.45%, il contenuto di zolfo non dovrà superare lo 0.025%. Ogni recipiente a pressione industriale che contiene liquidi pericolosi, per norma di legge, deve avere una targa in acciaio inossidabile in cui vengono riportate tutte le specifiche del recipiente e del liquido contenuto. Questa deve essere affissa al recipiente con dispositivo meccanico (rivettatura) e non può essere saldata. Nel nostro caso la targa viene affissa al bocchello M1.

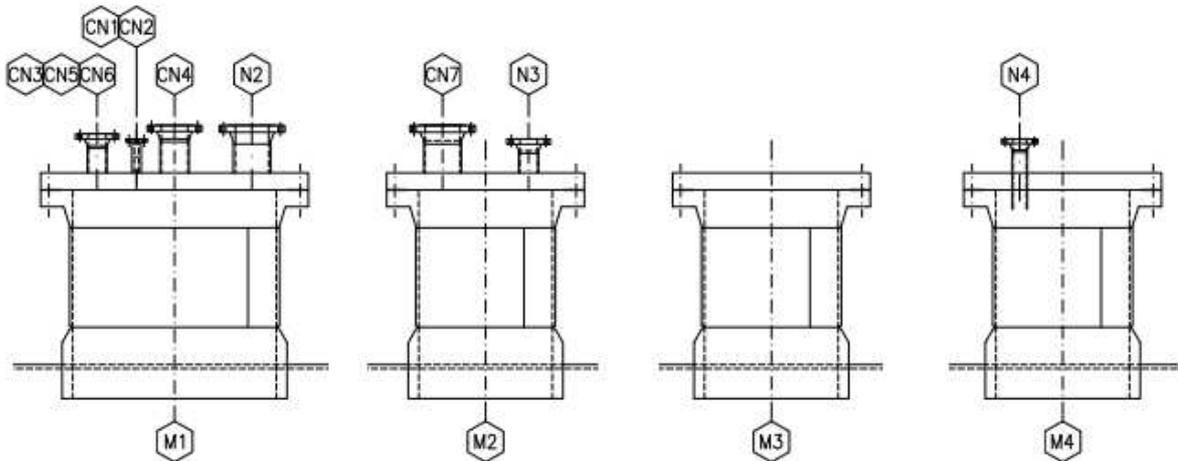


Fig. 2.2.4

- M1 passo d'uomo più connessioni.
- M3 passo d'uomo più connessioni.
- M2 passo d'uomo.
- M4 passo d'uomo più connessioni.

- N2 ingresso fase liquida, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- N3 uscita fase gas, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- N4 controllo di bonifica, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.

- CN1 controllo PI/PT, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.

- CN2 controllo PSHH, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- CN3 controllo TE, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- CN4 controllo LT, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- CN5 controllo LT, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- CN6 controllo LT, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.
- CN7 controllo PSV, tipo di flangia ASME 300# W.N.-R.F.

2.3.5 **Tiranti e dadi:** il materiale dei tiranti dovrà essere in accordo alla specifica ASTM A 193 Gr.B7 e quello dei dadi in accordo alla specifica ASTM A 194 Gr.2H.

2.3.6 **Guarnizioni:** le guarnizioni dovranno essere spirometalliche con inserto in grafite certificate per fluidi “R45” secondo VDI 2440 e fire safe secondo API607/Exxon test.

2.3.7 **Interni:** all'interno del serbatoio vengono alloggiati: una tubazione, due scale e tutti i componenti necessari per il fissaggio alla struttura. La tubazione interna (Fig. 2.2.8) serve a guidare la fase liquida in ingresso sul fondo nel lato opposto allo scarico (Fig. 2.2.9). Per accedere all'interno del serbatoio (per le operazioni di manutenzione da eseguire periodicamente) si usano i passi d'uomo M2,M4 (Fig. 2.2.9), dove sono collocate le scale (Fig. 2.2.7).

Tutti i componenti interni non sottoposti a pressione dovranno essere costruiti in acciaio al carbonio calmato (Fig. 2.2.9).

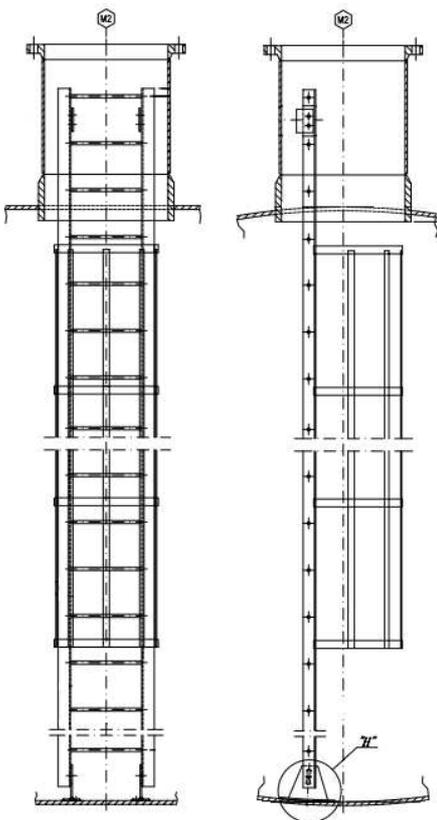


Fig. 2.2.7

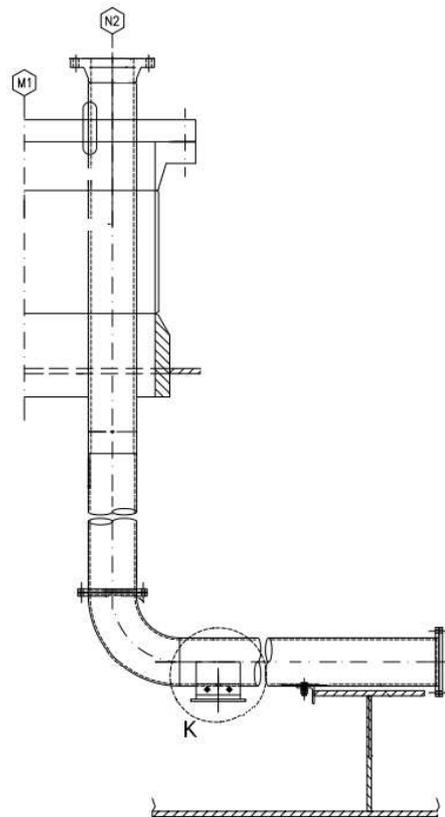


Fig. 2.2.8

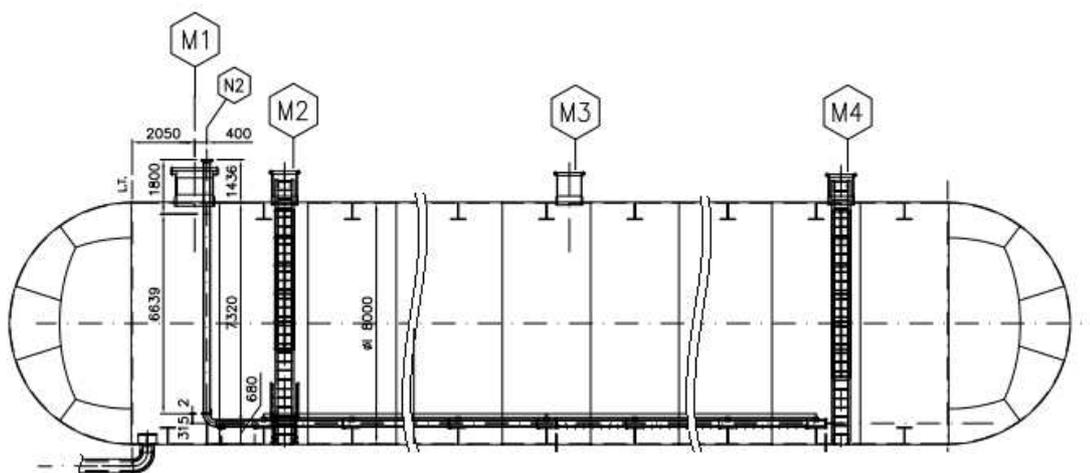


Fig. 2.2.9

2.3.8 Esterno: le superfici esterne dovranno essere pulite con sabbiatura e dovranno essere protette dalla corrosione mediante l'applicazione del seguente rivestimento epossipoliamminico senza solvente ad altissimo spessore:

- sabbiatura a metallo quasi bianco grado Sa 2½ (profilo minimo 50 µm);
- applicazione, a spruzzo airless, di un rivestimento epossipoliamminico (spessore minimo 1500 µm) tipo BARRIERPIPE 4762.5101/9999 della MAC S.p.A. Modern Advanced Concrete, Divisione Veneziani o equivalente.

È inoltre prevista una protezione catodica a corrente impressa in grado di assicurare una differenza di potenziale di almeno 0.9 V fra ogni punto della struttura da proteggere ed il terreno circostante (riferita ad elettrodo Cu / CuSO₄). Ogni serbatoio dovrà essere dotato almeno di:

- 2 coppie di piastrine in acciaio inossidabile (collegate al serbatoio non per saldatura a fusione) per il collegamento al sistema di protezione catodica (1 coppia per lato, ubicata lungo la generatrice superiore del serbatoio, ad 1 m circa dalla saldatura dei fondi emisferici). Le piastrine dovranno avere almeno le seguenti dimensioni minime: 100 x 80 x 8 mm (larghezza x lunghezza x spessore) ed avere 2 fori da 13 mm. In prossimità dei fori non dovrà essere previsto il rivestimento protettivo (diversamente dovrà essere rimosso prima dell'allacciamento). In fase esecutiva si stabilirà se l'allacciamento al sistema di protezione catodica dovrà essere effettuato mediante processo di saldatura alluminotermica (Caldweld-braze) o mediante capocorda, vite, dado e rondella elastica. A fine lavori la connessione verrà protetta mediante rivestimento con resina autoagglomerante o mastice isolante.
- 1 piastrina in acciaio inossidabile di messa a terra su ogni bocchello superiore. La piastrina dovrà essere ubicata in modo tale che a tumulo ultimato rimanga fuori dalla terra in posizione accessibile. Le dimensioni minime dovranno essere quelle già indicate per le piastrine di protezione catodica.

2.4 Assemblaggio dei Serbatoi: il recipiente è stato ottenuto mediante l'assemblaggio tramite saldatura di lamiera. Le notevoli dimensioni dell'oggetto hanno reso necessario l'assemblaggio in loco di tumulazione. Le lamiere costituenti le virole e le strisce di rinforzo (a,b) (Fig. 2.3.1) sono state calandrate in stabilimento, trasportate in cantiere e assemblate con

il reso dei componenti. Gli anelli sono stati ottenuti tramite taglio al plasma da lamiere dello stesso materiale del mantello. Essendo impossibile realizzare l'anello in un unico componente, la circonferenza è stata suddivisa in più settori. Per la costruzione dei fondi sono state impiegate lamiere sagomate, in modo tale che, una volta saldate, approssimino la superficie di una semi sfera.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E STATICHE (anello + mantello collaborante)

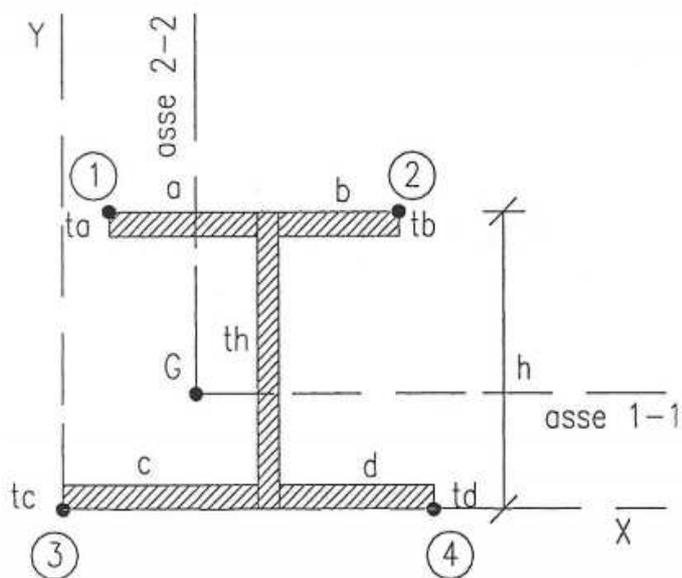


Fig. 2.3.1

	mm		mm		mm ²		mm ³		mm ³
a	232,87	ta	22,7	Aa	5286,15	Sa1	2959222	Sa2	653976
b	232,87	tb	22,7	Ab	5286,15	Sb1	2955222	Sb2	1978526
c	240,15	tc	21,7	Ac	5211,26	cS1	56542	Sc2	625741
d	240,15	td	21,7	d	5211,26	Sd1	56542	Sd2	1969464
h	570,4	th	17,7	Ah	10096,08	Sh1	2879402	Sh2	2513924
				At	31090,89	St1	8902929	St2	7741631

COORDINATE DEL BARICENTRO	ordinata	3286,4 mm	ascissa	4249 mm
---------------------------	----------	-----------	---------	---------

		Rispetto all'asse 1-1	Rispetto all'asse 2-2
Momento d'inerzia	cm ⁴	185189,46	43731,64
Modulo di resistenza del punto 1	cm ³	6519,65	1809,19
Modulo di resistenza del punto 2	cm ³	6519,65	1809,19
Modulo di resistenza del punto 3	cm ³	6467,2	1756,29
Modulo di resistenza del punto 4	cm ³	6467,2	1756,29
Raggio d'inerzia	mm	244,06	118,6

2.5 Tumulazione con letto di Argilla: il letto di argilla espansa è stato realizzato in modo tale da presentare un'angolo di sostegno di 120°. Per il calcolo delle sollecitazioni si fa riferimento all'oggetto inserito in un rilevato in terra, tenendo conto:

- dei carichi direttamente applicati;
- della propria rigidità flessionale;
- della deformazione del piano di posa del manufatto, dovuta sia ai carichi direttamente applicati sia ai carichi dovuti al rilevato in terra circostante.

2.6 Analisi dei carichi:

- **Peso proprio:** il peso proprio del serbatoio è stato ottenuto con una accelerazione di gravità di $-9806,65 \text{ mm/s}^2$. Peso proprio serbatoio con accessori 375500 Kg (375 t).
- **Fluido contenuto:** il volume totale del serbatoio è 3000 m^3 . Si considera il serbatoio in posizione orizzontale, con un riempimento pari al 100% (battente idrostatico 8000mm); L'incremento di pressione dovuto all'inclinazione del serbatoio ed, in collaudo, al livello dell'acqua fino alla flangia del passo d'uomo è inserito come incremento di pressione interna.
- **Condizioni di esercizio:**
 - Il fluido contenuto è : GPL (raffinato 1/butene 1).
 - Peso specifico è 600 Kg/m^3 .
 - Percentuale di riempimento 100 %.
 - Volume utile di esercizio 3000 m^3 .
 - Peso fluido contenuto in esercizio 17652 KN (1984 t).
- **Condizioni di collaudo:**
 - Il fluido contenuto è : Acqua.
 - Peso specifico è 1000 Kg/m^3 .
 - Percentuale di riempimento 100 %.
 - Volume utile di esercizio 3000 m^3 .
 - Peso fluido contenuto in esercizio 29420 KN (3300 t).
- **Pressione interna:**
 - Pressione interna in progetto 0,7 Mpa (7 Bar).
 - Pressione interna in collaudo 1,0010 MPa (10,001 Bar).
 - Incremento del battente per inclinazione del serbatoio 150 mm.
 - Incremento del battente in collaudo per altezza dell'acqua fino alla flangia del passo d'uomo: 1178 mm.
 - Sovrapresione in progetto 0,000883 MPa (0,008 Bar).
 - Pressione interna totale in progetto 0,700883 MPa (7,008 Bar).
 - Sovrapresione in collaudo 0,011552 Mpa (1,1 bar).
 - Pressione interna totale in collaudo 1,012553 MPa (10,1 Bar).
 - Si considera una pressione normale alla faccia interna del fasciame pari al valore della pressione interna.

- **Pressione esterna:** si considera una pressione esterna 0,10132 Mpa (1,01 Bar).
- **Pressione del ricoprimento sul fasciame cilindrico:** (Fig. 6.2.1).

UTILIZZIAMO IL SEGUENTE SCHEMA DI CARICO

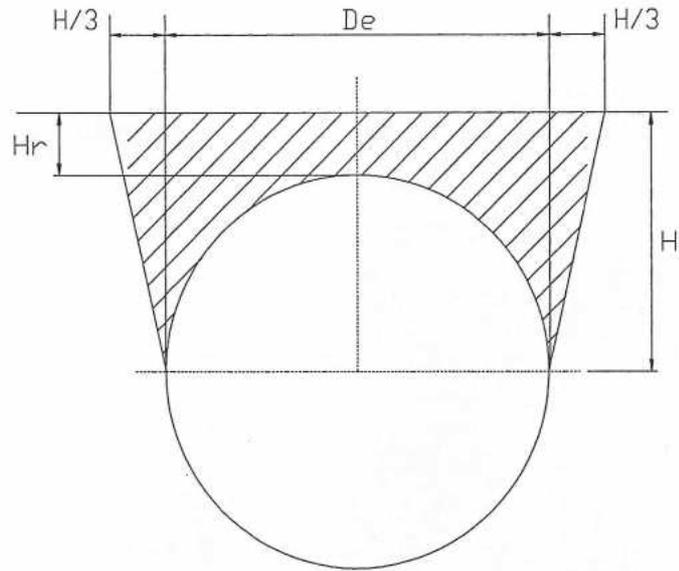


Fig. 6.2.1

L'altezza del ricoprimento aumenta seguendo l'inclinazione del serbatoio; il carico dovuto al ricoprimento varia linearmente con la lunghezza del serbatoio.

Si hanno:

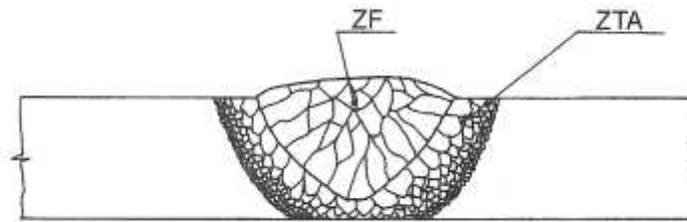
- Lunghezza fasciame cilindrico 55000 mm.
 - Pendenza 0,002 .
 - Peso specifico terreno di ricoprimento 2000 Kg/m^3 .
- **Pressione del terreno sui fondi:** La pressione del terreno sui fondi varia in funzione del battente di terreno nel punto considerato e dall' espansione del serbatoio.

Capitolo 3

Saldature

3.1 Introduzione: la saldatura è una giunzione che consente di unire parti solide in maniera permanente, realizzando la continuità del materiale. Nella saldatura si fa uso , normalmente, di un metallo di apporto che viene distribuito allo stato fuso tra i lembi del materiale base. Normalmente, insieme al materiale di apporto fonde anche il materiale base; in questo caso siamo in presenza di una saldatura autogena per fusione. Nel caso il materiale base non fonda ma venga solo riscaldato, si ha la saldobrasatura.

Saldabilità: un materiale viene definito “ saldabile “ quando si presta a realizzare delle strutture con una certa continuità metallica. La saldabilità è , dunque , una proprietà condizionata dalle caratteristiche finali che il giunto saldato deve avere. All'interno di ogni giunto saldato si può distinguere una zona fusa ZF ed una zona termicamente alterata; quest'ultima è veramente importante , in quanto in sua prossimità si verificano o si possono verificare gravi difetti , quali cricche a caldo, cricche a freddo e strappi lamellari.



Per tenere sotto controllo la ZTA degli acciai debolmente legati, è fondamentale la prova di resilienza che serve a valutare la continuità metallica del giunto saldato. Quando si esegue una saldatura autogena per fusione con una sorgente termica concentrata, si fonde il materiale base ed il materiale di apporto; ogni punto del giunto saldato subisce, dunque, un ciclo di riscaldamento e successivo raffreddamento. Fondamentale per il controllo di una saldatura è il calcolo del fattore “Q” noto come “apporto termico specifico”:

$$Q=(I \times V \times 60) / v \text{ (J/cm)}$$

Dove I = corrente in Ampere
V=tensione in Volt
v = velocità di saldatura in cm/min

Sulla severità del ciclo termico , oltre al fattore Q , altrettanto influenti sono lo spessore dei pezzi e la temperatura di preriscaldamento (da 50°C a 300 °C) , effettuato in alcuni casi, e la velocità di raffreddamento.

3.2 La saldatura sarà eseguita mediante i procedimenti sottoindicati:

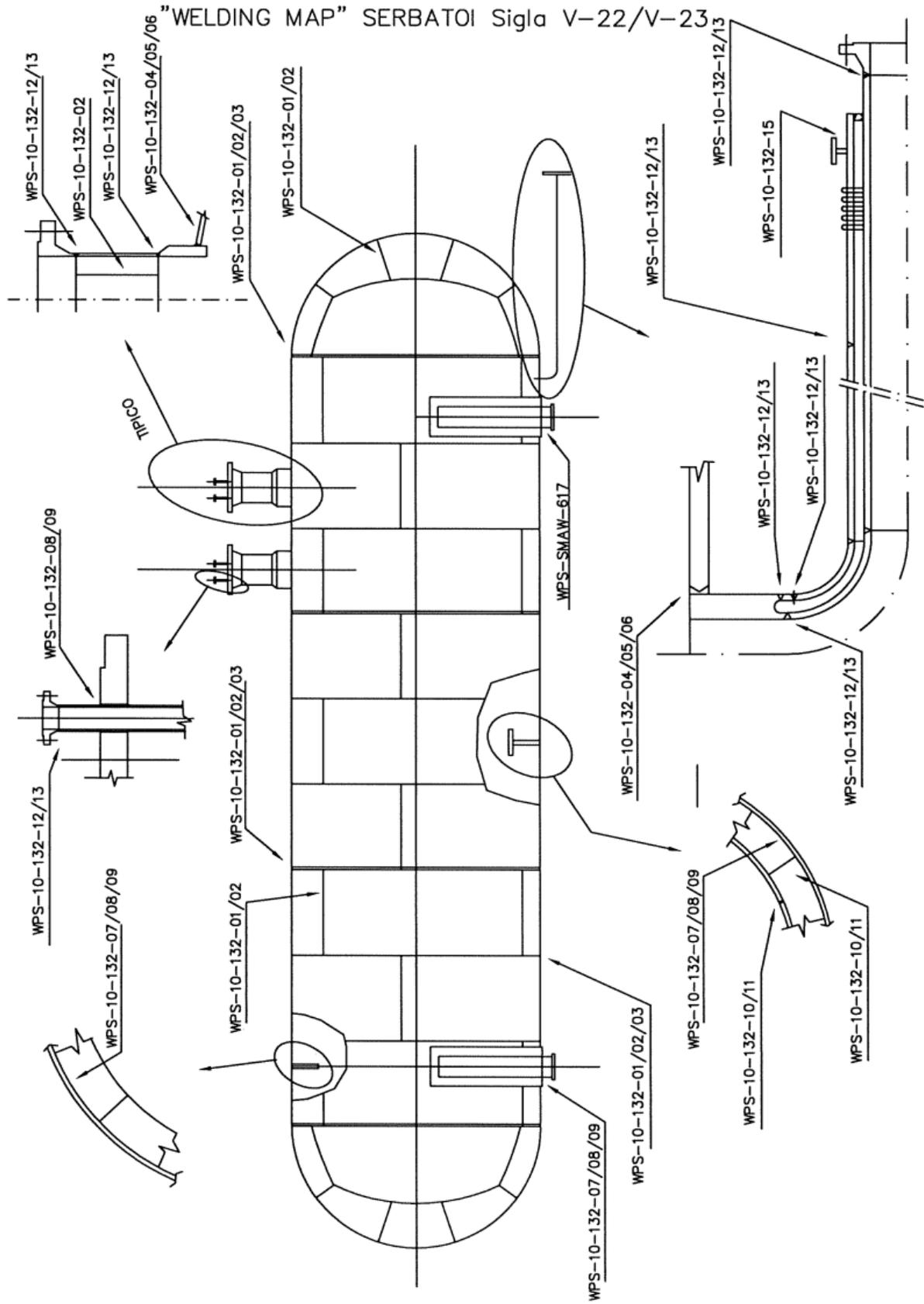
- Manuale con elettrodi rivestiti SMAW (Shielded Metal Arc).
- Manuale con elettrodo infusibile GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).
- Automatico ad arco sommerso SAW (Submerged Arc).
- Automatico con filo animato FCAW (Flux-Cored arc Welding).

Tutti i giunti di testa dovranno essere saldati con ripresa al rovescio, qualora sia impossibile, dovrà essere eseguita una singola saldatura con passata alla radice mediante procedimento GTAW o GMAW (Short arc), eccetto che per i tubi in acciaio al

carbonio per i quali è accettabile l'uso di elettrodi E-6010/11 per la passata alla radice con procedimento SMAW.

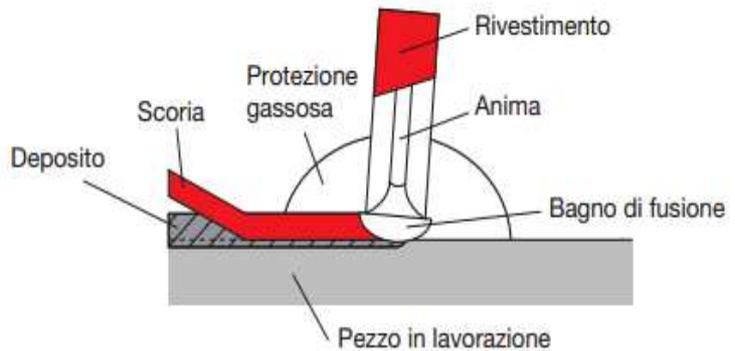
Tutti i giunti di testa sulle virole del mantello dovranno essere del tipo SAW, il fornitore dovrà dare conferma in fase di offerta del procedimento adottato i procedimenti di saldatura accettabili per i componenti incamiciati sono il TIG (GTAW) manuale e l'elettrodo rivestito (SMAW).

3.3 Riepilogo WPS e PQR



3.4 Manuale con elettrodi

rivestiti SMAW: il processo di saldatura manuale ad elettrodo rivestito è sicuramente la tecnologia ad arco più antica ed è ancora molto utilizzata. Il calore necessario a portare a fusione il materiale è ottenuto tramite un arco elettrico che scocca tra un elettrodo, che in questo caso costituisce anche il metallo d'apporto ed il metallo base. Le temperature massime raggiungibili sono circa di 6000-7000 K e sono localizzate, secondo la teoria della distribuzione del calore, in caso di sorgente in corrente continua, nel polo positivo. L'elettrodo, sostenuto manualmente da un operatore attraverso una pinza, e costituito da un'anima metallica a sezione cilindrica composta da materiale, solitamente affine al metallo base, è ricoperto all'esterno con un rivestimento. L'anima metallica, fungendo anche da materiale d'apporto, fonde ed entra in soluzione con il bagno generato durante il processo (figura). Il rivestimento ha il compito di proteggere e migliorare le caratteristiche generali del giunto ed è costituito da varie sostanze minerali silicati, ossidi carbonati ferroleghie e organiche (cellulose, collanti) miscelate fra loro con acqua o leganti in modo da generare un impasto omogeneo. Le funzioni del rivestimento sono:



- **Protezione contro la contaminazione dell'aria:** questa azione normalmente è svolta da tre diversi elementi:
 - Gas: parte del rivestimento vaporizza in elementi inerti rispetto al bagno di fusione che lo isolano dall'atmosfera.
 - Liquido: parte del rivestimento fonde creando una scoria leggera che galleggia sul bagno di fusione proteggendolo ulteriormente.
 - Forma: la punta dell'elettrodo assume una forma concava data dalla sporgenza del rivestimento rispetto all'anima metallica, creando quindi una cupola che favorisce il mantenimento in posizione della protezione gassosa e della scoria liquida.
- **Disossidazione bagno:** la protezione del bagno, ottenuta secondo le modalità elencate nel punto precedente, non è normalmente sufficiente. Una certa quantità di ossigeno atmosferico arriva inevitabilmente a contatto con il bagno provocando la formazione di ossidi. Scegliendo un opportuno rivestimento è possibile introdurre durante il processo elementi disossidanti (generalmente manganese e silicio introdotti sotto forma di ferroleghie). Tali elementi sottraggono l'ossigeno dagli ossidi di ferro presenti nel bagno e formano a loro volta ossidi che, non essendo solubili nel metallo fuso, vengono a galla e costituiscono parte della scoria.
- **Depurazione del bagno:** la parte del rivestimento che fonde può contenere sostanze (carbonati di calcio e magnesio) che, legandosi con lo zolfo e il fosforo presenti nel bagno e derivanti dal ciclo di produzione dell'acciaio, li portano a galla sotto forma di scoria.
- **Apporto elementi di lega nel bagno:** il rivestimento può contenere elementi

come cromo, molibdeno, nickel, etc. che rimangono come elementi di lega e modificano le proprietà chimico-metallurgiche del giunto.

- **Influenza sulla stabilità dell'arco:** i leganti del rivestimento contengono elementi alcalini (Na, K, Li) che, essendo facilmente ionizzabili, aiutano a mantenere stabile l'arco e sono particolarmente utili in caso di utilizzo di sorgenti in corrente alternata, in cui la ciclica inversione di polarità può portare ad un raffreddamento del plasma e quindi ad un arco instabile.
- **Influenza della scoria:** la scoria influenza sia la forma finale del cordone (piano, convesso, concavo) che le velocità di solidificazione del giunto. Quest' ultima proprietà si rivela molto importante dal momento che molti materiali sono suscettibili di formazione di cricche a freddo che possono essere limitate da un raffreddamento lento. Inoltre la tensione superficiale esercitata dalla scoria liquida sul bagno fuso consente di realizzare saldature in posizione.

3.4.1 Modalità di trasferimento del materiale e caratteristiche del generatore: il trasferimento del metallo d'apporto avviene sotto forma di gocce le cui dimensioni variano in funzione della corrente di saldatura e del tipo di rivestimento degli elettrodi, con una frequenza di deposizione media di 10-40 gocce/ secondo. Naturalmente gocce di piccole dimensioni tendono a perturbare poco la stabilità dell'arco: sono quindi preferibili per una buona qualità estetica del cordone e una maggiore facilità di esecuzione della saldatura da parte dell'operatore. E' possibile utilizzare sia la corrente continua che la corrente alternata. Nel primo caso (solitamente CCPI per favorire il riscaldamento, dell'elettrodo) si ha una deposizione del metallo d'apporto più dolce ed un arco più stabile in virtù del fatto che non vi sono spegnimenti dell'arco dovuti alle inversioni cicliche di polarità. Con la corrente continua si ottengono, quindi, cordoni più estetici e si possono saldare gli spessori più sottili. La scelta della polarità diretta (maggiore, penetrazione) piuttosto che la polarità inversa (maggiori deposizioni) è legata al tipo di rivestimento. La corrente alternata, invece, è appannaggio dei generatori più economici: offre il vantaggio di generare un soffio magnetico limitato e quindi permette l'utilizzo di correnti di saldatura più elevate ed elettrodi più grandi generando anche elevate profondità di penetrazione e maggiori deposizioni. L'arco non è stabile come nei casi precedenti e per questo la CA viene utilizzata con rivestimenti che favoriscano la ionizzazione dell'atmosfera (rutilico, acido, cellulosico). L'accensione dell'arco in caso di saldatura MMA è sempre a strisciamento: l'elettrodo viene appoggiato sul materiale base e fatto strisciare su di esso per qualche millimetro per favorire il riscaldamento della punta e innescare l'effetto termoionico. Le macchine elettriche utilizzate sono generalmente piuttosto economiche in quanto non prevedono particolari soluzioni di controllo elettronico e possono quindi constare in semplici trasformatori (tradizionali o inverter) con l'eventuale aggiunta di un circuito raddrizzatore. La caratteristica elettrica del generatore è solitamente di tipo cadente, non essendo necessario l'effetto di autoregolazione, ma si possono anche trovare situazioni in cui risulti indicato l'utilizzo di macchine a caratteristica più simile a quella piatta, come ad esempio nella saldatura di materiali a spessore o cianfrinatura non costanti. In questo caso l'operatore può variare la corrente di saldatura, e quindi il riscaldamento del pezzo con continuità durante il processo semplicemente agendo sulla lunghezza dell'arco.

Vantaggi-svantaggi

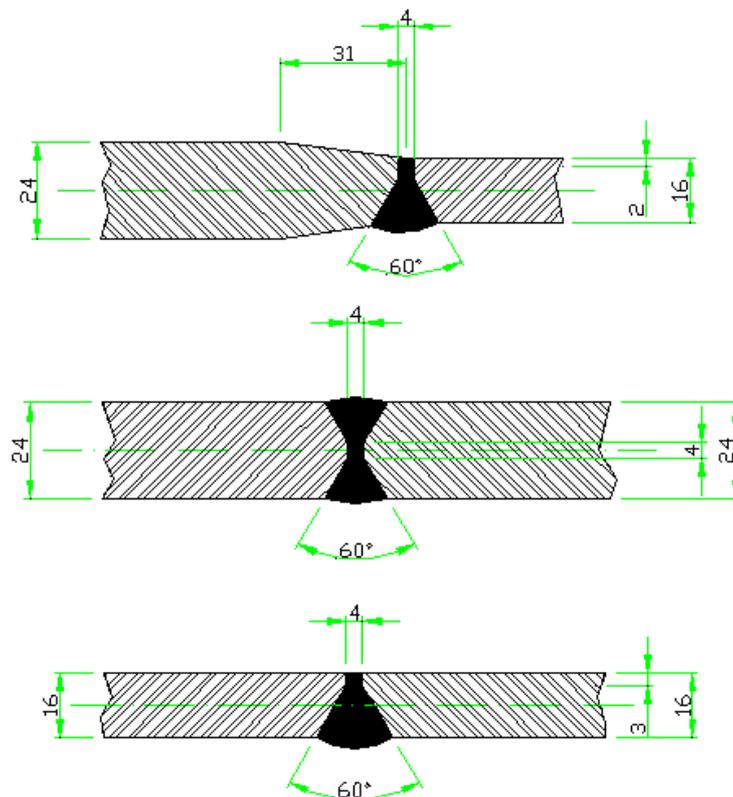
- Processo lento a causa del continuo cambio di elettrodo e rimozione della scoria.
- Flessibile e consente di saldare anche con spazi di accesso molto limitati.
- Basso costo sia per il materiale base che per l'attrezzatura.

3.4.2 Elettrodi utilizzati:

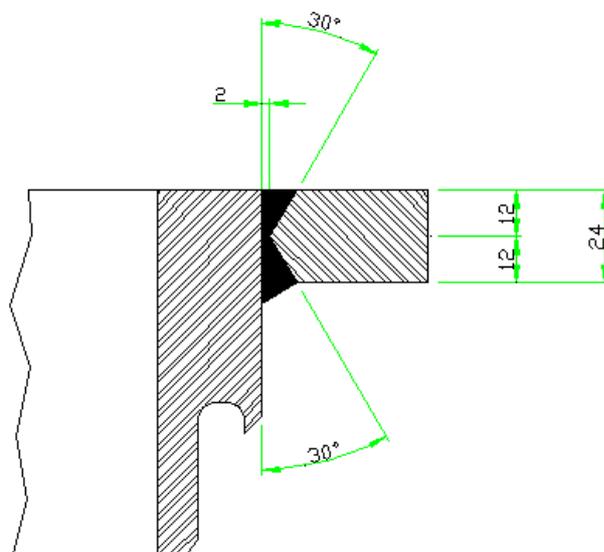
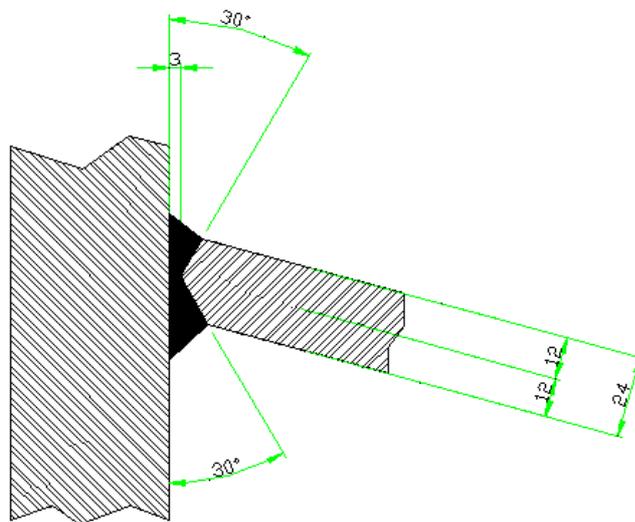
- **OK 48.03 ESAB:** Elettrodo con rivestimento basico, LMA, indicato per saldature in severe condizioni quali le costruzioni offshore. Contenuto di Nickel nel deposito 1% circa, buoni valori di tenacità fino a -40 °C, testa CTOD. Corrente di Saldatura AC, DC+(-) OCV 65V .
- **OK 48.50 ESAB:** Elettrodo con rivestimento basico tipo H4R (basso assorbimento di umidità). Ottima saldabilità in tutte le posizioni ad eccezione del verticale discendente. L'Ok 48.50 è un elettrodo indicato per costruzioni in acciaio al C-Mn di prima qualità, apparecchi a pressione, ecc. Elettrodo Omologato E44-E52. Corrente di saldatura DC+,AC OCV V

3.4.3 Saldature con metodo SMAW:

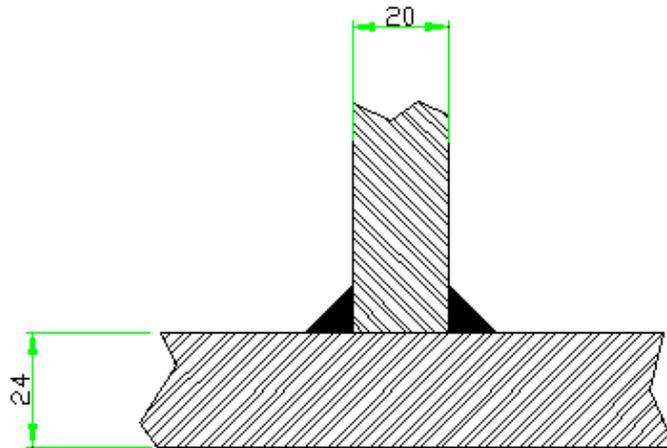
WPS	10-132-01	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	16÷42
metallo base	SA 516 Gr.70	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 192	Amp. range	110÷230
applicabilità	Saldatura mantello e fondi	Volt range	22÷26
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	74,7 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4 / 5		



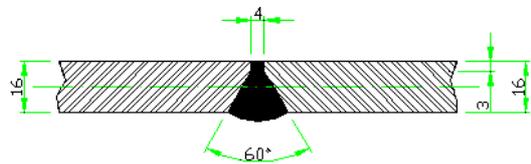
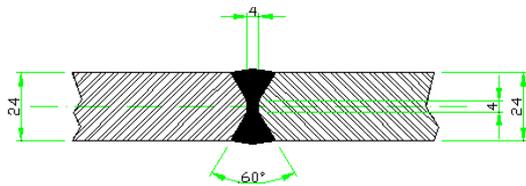
WPS	10-132-04	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	16÷42
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 192	Amp. range	110÷230
applicabilità	Connessioni a mantello	Volt range	22÷26
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	74,7 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4 / 5		



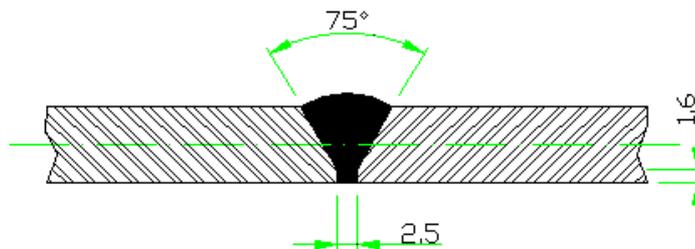
WPS	10-132-09	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	16÷42
metallo base	SA 516 Gr.70	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 192	Amp. range	110÷230
applicabilità	Anello di irrigidimento e piastre a mantello connessioni a flange cieche	Volt range	22÷26
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	74,7 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4		



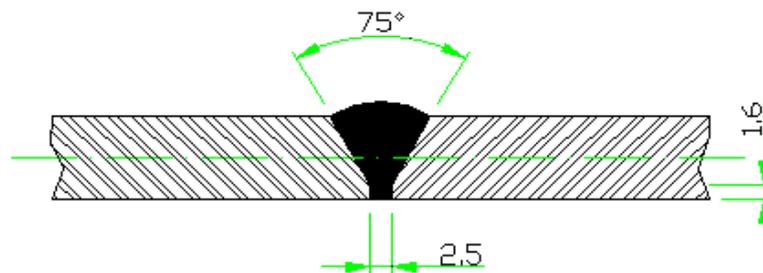
WPS	10-132-11	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	16÷42
metallo base	SA 516 Gr.70	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 192	Amp. range	110÷230
applicabilità	Anello di irrigidimento	Volt range	22÷26
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	74,7 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4 / 5		



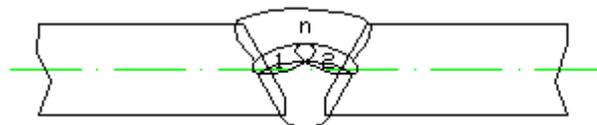
WPS	10-132-12	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	6÷8
metallo base	SA 350 Gr.LF2	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 188	Amp. range	110÷140
applicabilità	Tubazioni	Volt range	21÷24
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	62 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4		



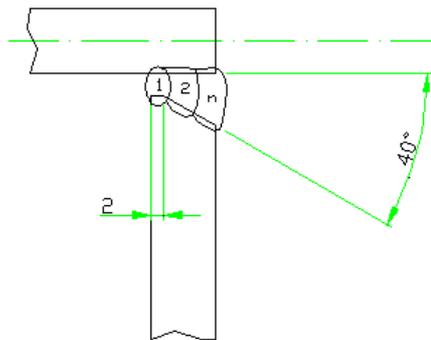
WPS	10-132-13	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	8÷16
metallo base	SA 350 Gr.LF2	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 189	Amp. range	110÷170
applicabilità	Tubazioni	Volt range	21÷23
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	78 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4		



WPS	10-132-14	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	Fino a 22
metallo base	SA 516 Gr.70	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 192	Amp. range	110÷230
applicabilità	Tubazioni	Volt range	22÷26
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	74,7 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4		

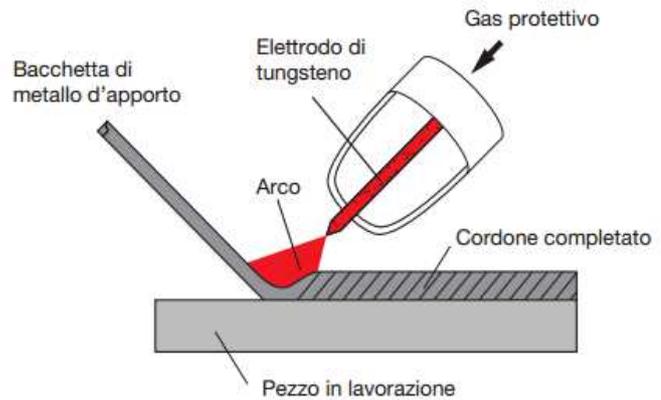


WPS	10-132-15	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	6÷8
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SMAW 188	Amp. range	110÷140
applicabilità	Conessioni a pipa	Volt range	21÷24
elettrodo	OK 48,50	Velocità di traslazione (mm/min.)	62 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2 / 4		6÷8



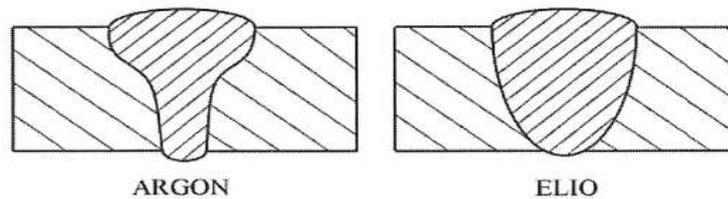
3.5 Manuale con elettrodo infusibile

(TIG o GTAW) Generalità: il processo di saldatura TIG (Tungsten Inert Gas) fa parte di quel gruppo di tecnologie di saldatura autogena ad arco nel quale la copertura del giunto avviene attraverso un gas convogliato opportunamente in prossimità del bagno fuso. La zona di saldatura è immersa in un'atmosfera costituita generalmente da elio, argon o da una miscela di entrambi. La figura schematizza un impianto per saldatura TIG. Generalmente è previsto anche un



circuito ad acqua per il raffreddamento della torcia. Il giunto risulta, in questo modo, protetto dall'azione dell'ossigeno, dell'azoto e, parzialmente, anche dell'idrogeno. Il gas inerte, prelevato da una bombola, attraverso un tubo di adduzione ed un regolatore di pressione, viene condotto alla torcia TIG ed indirizzato nella zona di saldatura, dalla quale fluisce con portate che vanno da 5 Z/min a 20 l/mm e oltre. I gas di maggiore utilizzo sono:

- Argon: il suo basso potenziale di ionizzazione (15.7 eV) consente la formazione di archi stabili e di facile accensione anche a tensioni e correnti contenute, inoltre, godendo di una densità particolarmente elevata (1.78 g/l) consente una buona copertura del giunto anche per flussi non troppo abbondanti. La scarsa conducibilità termica di questo elemento favorisce la formazione di cordoni a testa di chiodo larghi nella parte superiore e con un assottigliamento pronunciato verso la radice. Di norma l'argon viene utilizzato nel processo TIG con purezze del 99,99 % per evitare la contaminazione dei metalli più reattivi. Solitamente la reazione del gas con l'arco elettrico tende a creare depositi fuliginosi sul giunto che vanno poi puliti dopo la saldatura. L'argon, inoltre, produce, nei processi ad arco, ioni positivi di massa particolarmente elevata che, in caso di saldatura in CCPI, producono un ottimo effetto di rimozione degli ossidi.
- Elio: il suo alto potenziale di ionizzazione (24.5 eV) causa instabilità dell'arco e difficoltà di accensione, per cui si devono utilizzare tensioni di saldatura più elevate. La caratteristica statica dell'arco in atmosfera di elio è infatti spostata più in alto e più a destra nel diagramma V-I rispetto a quella competente all'argon. Questa particolarità consente di ottenere velocità di saldatura maggiori con elio rispetto a quella effettuata con argon. La bassa densità che lo caratterizza (0.178 g/l) rende difficoltoso sia il suo stoccaggio nei recipienti in pressione sia la protezione del bagno di fusione per la quale sono necessari quindi usi abbondanti (2-3 volte maggiori rispetto a quelli propri dell'argon) con conseguente aumento dei costi di processo. L'elio ha una conducibilità termica molto più elevata dell'argon e per questo, a parità di parametri elettrici, favorisce maggiori penetrazioni e la formazione di cordoni a profilo meno appuntito. Solitamente nella saldatura TIG si utilizza elio puro almeno al 99.99 %. L'uso di questo elemento è consigliato nella saldatura di materiali ad alta conducibilità termica. In caso di saldatura ad arco in CCPI la rimozione degli ossidi è meno efficace rispetto al caso di utilizzo di argon in quanto gli ioni positivi sviluppati dall'elio hanno massa circa 10 volte inferiore.



Effetti del gas di assistenza sulla forma del giunto

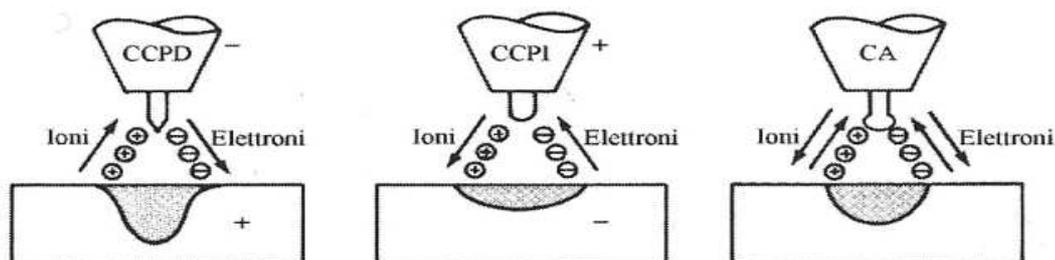
- Miscela argon-idrogeno: l'idrogeno ha l'effetto di spostare verso l'alto la caratteristica statica dell'arco, aumentando quindi il voltaggio di saldatura, e di trasferire maggiore energia al bagno di fusione grazie alla dissociazione e riassociazione della molecola a contatto con la temperatura dell'arco. Questo consente di aumentare la velocità di saldatura ed è particolarmente apprezzato in processi automatici di materiali che non risentano dell'effetto negativo dell'idrogeno, come ad esempio gli acciai inossidabili, le leghe di nickel e di rame. Normalmente le percentuali di idrogeno vanno dal 5 % in caso di saldatura manuale al 35 % in caso di automazione in cui sono necessarie le massime velocità di saldatura. L'aggiunta di idrogeno favorisce anche la formazione di giunti più puliti che non necessitano dunque di trattamenti post saldatura.
- Miscela argon-elio: per ottenere risultati simili a quelli del punto precedente in caso di materiali particolarmente suscettibili all'inquinamento da idrogeno si possono utilizzare miscele argon - elio. In questo caso si hanno però archi meno stabili a causa della presenza dell'elio. Spesso nel procedimento TIG si utilizza la cosiddetta protezione al rovescio, ovvero si crea, quando possibile, un flusso gassoso protettivo anche nella zona opposta al cordone di saldatura, soprattutto nel caso di acciai legati al cromo e materiali particolarmente reattivi come leghe di alluminio, di titanio e di magnesio. La caratteristica fondamentale del procedimento TIG è quella di avere un elettrodo infusibile, che non costituisce dunque il materiale d'apporto, contenuto in una torcia la quale provvede anche alla diffusione del gas di copertura, coassialmente all'elettrodo stesso, attraverso un apposito ugello. L'elettrodo utilizzato costituito da tungsteno puro al 99.5% oppure da tungsteno con 1-2% di torio ovvero con 0.15-0.4% di zirconio. Questi materiali sono infusibili alle temperature caratteristiche dell'arco elettrico e per tale motivo non prendono parte alla generazione del bagno di fusione. Gli elementi leganti introdotti nell'elettrodo ne aumentano la sua già elevata emissività elettronica e lo rendono più resistente alle alte temperature. L'utilizzo di tali elementi aggiuntivi si rende necessario quando si vogliono saldare sia gli spessori più sottili, per i quali le correnti sono molto basse e si potrebbe non avere l'emissività richiesta, sia gli spessori più elevati nei quali l'alta densità di corrente potrebbe portare ad un deterioramento dell'elettrodo precoce con conseguente inquinamento del bagno di fusione da parte del tungsteno. L'estremità libera dell'elettrodo presenta una conformazione variabile a seconda della polarità impiegata: se la corrente è

continua la punta deve essere a cono con altezza pari a circa 1.5 volte il diametro dell'elettrodo stesso, in caso di corrente alternata invece la punta deve essere tronco-conica per resistere meglio al maggiore riscaldamento determinato da questa configurazione. Il diametro degli elettrodi infusibili varia da 0.25 mm a 6.4 mm, mentre le correnti caratteristiche sono comprese tra 5 A e 1000 A e le tensioni tra 10 V e 40 V. Per le potenze di saldatura più elevate e per i carichi di lavoro più gravosi si utilizzano torce raffreddate con circolazione forzata di acqua.

3.5.1 Alimentazione elettrica e modalità di trasferimento dell'energia: il fatto che il materiale d'apporto non costituisca fisicamente uno degli elettrodi di saldatura, e che quindi l'arco elettrico non sia costantemente attraversato da gocce di metallo più o meno grandi, fa sì che quest'ultimo si mostri particolarmente stabile in tutte le condizioni di saldatura. Nella saldatura (TIG o GTAW) si possono trovare tutti i tipi di alimentazione possibili:

- CCPD: la maggior parte del calore è ceduto al materiale base, di conseguenza l'elettrodo di tungsteno rimane, per così dire, freddo e non si usura troppo rapidamente. Lo svantaggio di questa configurazione consiste nella non efficace dissoluzione degli ossidi durante il processo. La CCPD viene, per questo, utilizzata per la saldatura di materiali non particolarmente reattivi come acciai, acciai inox, leghe di nickel e di rame. Nonostante ciò questa configurazione è senz'altro la più utilizzata.
- CCPI: la maggior parte del calore si concentra sull'elettrodo che, con correnti di saldatura elevate, raggiunge ben presto temperature che ne causano una rapida usura e conseguente contaminazione del bagno di fusione da parte del Tungsteno. La dissoluzione degli ossidi in questo caso risulta particolarmente efficace grazie al flusso di ioni positivi diretto verso il materiale base. Questa configurazione è raramente utilizzata e si presta solo per la saldatura di spessori sottili su leghe di alluminio e di magnesio in cui le correnti utilizzate sono basse (inferiore a 100 A con elettrodi di diametro 6 mm).
- CA: in questo caso il bilancio energetico è paritario sui due poli e si ha un sufficiente effetto dissolvente nei confronti degli ossidi. Tale configurazione è utilizzata con successo della saldatura di leghe di alluminio e di magnesio, per le quali risulta l'unica polarità utilizzabile in caso di spessori medi ed elevati, e correnti al di sopra di 100 A. In figura 2.34 viene riportato uno schema del trasferimento energetico arco-materiale in relazione alla polarità. La corrente alternata presenta due inconvenienti principali:
- Effetto di raddrizzamento: essendo l'emissività elettronica dell'elettrodo di tungsteno molto maggiore rispetto a quella del materiale base, sia per motivi di composizione chimica che per motivi di forma (una punta emette molto di più di una piastra), la corrente di saldatura risulta maggiore nel semi ciclo in cui l'elettrodo si trova al polo negativo, mentre è minore nel semi ciclo opposto. Questo fa sì che il comportamento della macchina sia quello di una sorgente alternata con sovrapposta una componente continua di entità pari alla differenza tra i due picchi di corrente (quello del semi ciclo positivo e quello del semi ciclo negativo).
- Difficoltà di riaccensione dell'arco: ad ogni inversione di polarità la riaccensione

dell'arco, risulta ancora più difficoltosa a causa dell'effetto di raddrizzamento ed, in conseguenza a ciò, l'arco si presenta instabile e difficilmente direzionabile. Per ovviare a questi inconvenienti si possono utilizzare varie soluzioni, tra le quali la più efficace è quella di sovrapporre alla corrente di saldatura una tensione alternata ad alta frequenza (dell'ordine del MHz) e ad alto voltaggio (circa 2000 V), ma a bassa intensità per evitare rischi all'operatore. Tale soluzione crea una cosiddetta scintilla pilota che mantiene l'atmosfera assai ionizzata favorendo la riaccensione dell'arco.



Trasporto energetico in seno ad un arco elettrico

- Corrente continua pulsata: in questo caso, ad una corrente di fondo a bassa intensità, ma sufficiente a mantenere l'arco acceso, si sovrappone una corrente pulsata con frequenza dell'ordine dei 10 Hz che consenta di realizzare la penetrazione richiesta e la fusione del materiale d'apporto. La corrente di saldatura si attesta quindi sul valore medio tra i due menzionati. Questa configurazione viene utilizzata per gli spessori più sottili, nei quali è particolarmente richiesto un buon controllo della cessione energetica al bagno, in modo da evitare perforazioni del materiale e sgocciolamenti del bagno. I vantaggi in realtà sono molteplici:
 - Apporto termico specifico contenuto e quindi limitazione dell'insorgenza delle cricche a caldo e delle distorsioni.
 - Agitazione del bagno a seguito delle pulsazioni e dunque facilitazione dell'evoluzione dei gas.
 - ZTA limitata.
 - Rapido raffreddamento del bagno con conseguente facilità di saldatura in posizioni diverse da quella piana.
 - Diminuzione del fattore di forma del cordone e quindi diminuzione delle distorsioni.
 - Maggiore penetrazione, a parità di apporto termico, rispetto al TIG CC non pulsato.

L'avanzamento tecnologico nell'ambito dell'elettronica di controllo consente, con le moderne sorgenti per saldatura TIG, di variare con grande sensibilità i parametri di pulsazione, come ad esempio la durata del picco, la frequenza, la corrente massima, la pendenza della rampa in accensione ed in spegnimento dell'arco. I generatori utilizzati per il procedimento TIG sono solitamente a caratteristica statica cadente corrente quasi costante, per favorire un riscaldamento uniforme del materiale base. Spesso è presente un pedale che consente all'

operatore di variare con continuità la corrente durante la saldatura per potere far fronte ad eventuali irregolarità nello spessore o nella cianfrinatura dei lembi. Il dispositivo di saldatura è completato, nelle macchine di maggior potenza, da un circuito di raffreddamento ad acqua per contenere le temperature dell'elettrodo e della torcia. Una menzione particolare, nel caso della saldatura TIG, va fatta in merito ai sistemi di accensione dell'arco elettrico. Come sottolineato precedentemente la contaminazione del bagno da parte del tungsteno e viceversa, è una problematica da tenere sotto controllo durante il processo, in particolare durante la fase di innesco dell'arco, in cui le elevate correnti di picco e gli eventuali contatti dell'elettrodo con il materiale base possono essere fonte di inaccettabile inquinamento. Alla luce di ciò si possono analizzare i metodi di innesco più comuni:

○ **A contatto:**

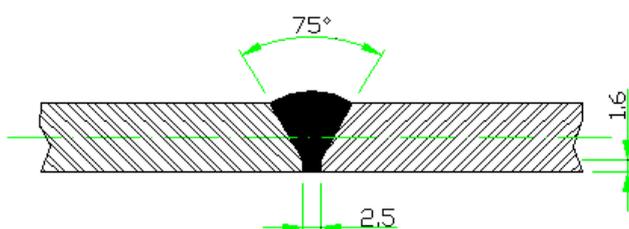
- Accensione a strisciamento (Scratch): l'elettrodo viene cortocircuitato e strisciato sul pezzo. Questo risulta essere il sistema più semplice ed economico, ma anche il più critico in quanto porta ad un'usura maggiore dell'elettrodo e favorisce la contaminazione. Questo metodo è indicato per la saldatura di materiali non particolarmente reattivi nei confronti del tungsteno, come ad esempio gli acciai.
- Accensione a contatto (Lift-Arc®): l'elettrodo viene cortocircuitato sul pezzo per 1-2 secondi senza strisciarlo, un circuito di controllo provvede poi ad erogare la tensione e la corrente necessarie a portare a temperatura l'elettrodo senza causare surriscaldamenti. Non appena la torcia viene sollevata di qualche millimetro dal materiale base l'arco si innesca. Questo procedimento consiste in un'evoluzione del precedente e consente di saldare anche materiali nei quali l'inquinamento da tungsteno è nocivo come, ad esempio, gli acciai inossidabili. l'attrezzatura impiegata in questo caso è costosa in quanto prevede l'implementazione di circuiti di controllo dei parametri elettrici in accensione.

○ Senza contatto (questi procedimenti si utilizzano per materiali reattivi come leghe di alluminio e di magnesio):

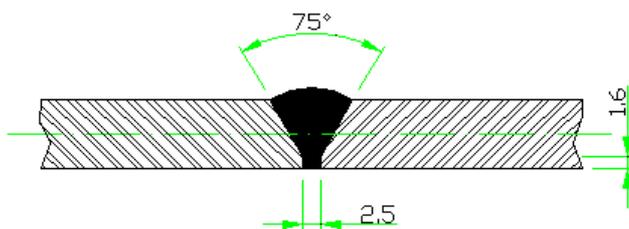
- Accensione ad alta frequenza: una corrente alternata a radiofrequenza e alta tensione viene sovrapposta a quella di saldatura in fase di innesco per ionizzare l'atmosfera circostante l'elettrodo. In questo modo si può avviare il processo senza alcun contatto tra i materiali. Le apparecchiature utilizzate in questo caso sono costose e possono creare disturbi da radio-frequenza non sempre tollerabili dalle macchine circostanti la zona di saldatura.
- Accensione ad arco pilota: un arco è tenuto acceso da una corrente ad alta frequenza tra elettrodo e ugello e consente di mantenere ionizzata l'atmosfera protettiva.
- Accensione ad impulso: un impulso ad alta tensione, applicato quando l'elettrodo è in prossimità del materiale base, favorisce la ionizzazione dell'atmosfera.

3.5.2 Saldature con metodo GTAW:

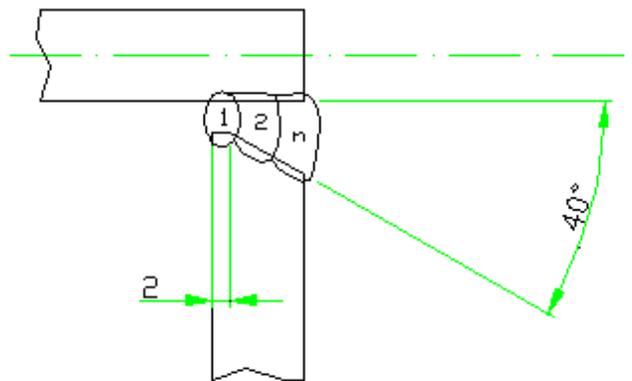
WPS	10-132-12	Tipo di polarità	DC-SP
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Amp. range	90÷110
PQR	SMAW 188	Volt range	12÷14
applicabilità	Tubazioni	Velocità di traslazione (mm/min.)	57 minimo
elettrodo	OK Tigrod 12,60	Gas	Ar
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	2,4 solid	Portata l/min.	10÷12
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	2÷4		



WPS	10-132-13	Tipo di polarità	DC-SP
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Amp. range	110÷160
PQR	SMAW 189	Volt range	10÷12
applicabilità	Tubazioni	Velocità di traslazione (mm/min.)	60 minimo
elettrodo	OK Tigrod 12,60	Gas	Ar
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	2,4 solid	Portata l/min.	10÷12
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	2÷4		

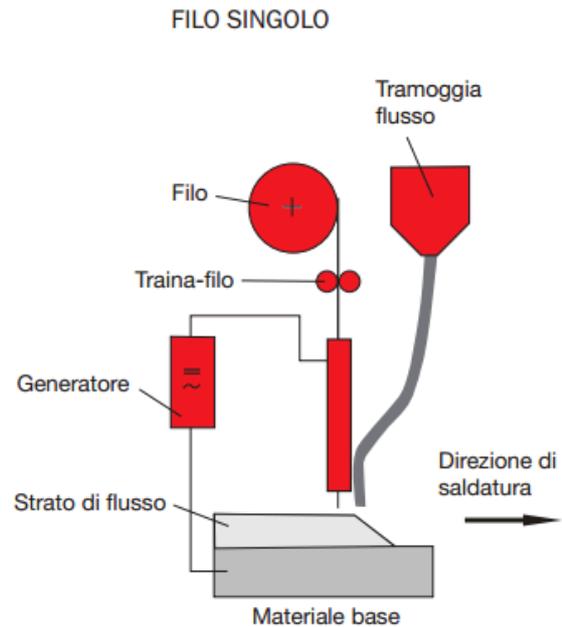


WPS	10-132-15	Tipo di polarità	DC-SP
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Amp. range	90÷110
PQR	SMAW 188	Volt range	12÷14
applicabilità	Connessioni a pipa	Velocità di traslazione (mm/min.)	57 minimo
elettrodo	OK Tigrod 12,60	Gas	Ar
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	2,4 solid	Portata l/min.	10÷12
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	2÷4		



3.6 Automatico ad arco sommerso SAW : il principio di funzionamento del procedimento ad arco sommerso è molto simile a quello alla base della saldatura MIG / MAG, in quanto il materiale d'apporto è fornito sotto forma di filo continuo e costituisce anche uno degli elettrodi di saldatura. La differenza fondamentale tra i due procedimenti si verifica nel fatto che, in caso di arco sommerso, il flusso di copertura è fornito in forma granulare attraverso una tramoggia. Vi sono due tipologie fondamentali di processo in ambito di SAW:

- Automatico: in questo caso la bobina del filo, la tramoggia e la sorgente elettrica fanno parte di un'unica testa di saldatura che si muove rigidamente su un carrello traslante azionato da un motore a velocità variabile.
- Semi automatico: la bobina del filo e la sorgente sono ferme e la vera e propria testa di saldatura è gestita da una torcia coassiale ad un'imbuto, che contiene il flusso, collegata alla sorgente attraverso una guaina flessibile. La testa è montata su ruote per garantire distanza costante dal pezzo, ma in genere è movimentata da un operatore manuale.



3.6.1 Sorgenti utilizzate e polarità di alimentazione: per quanto riguarda le sorgenti di saldatura si possono trovare varie configurazioni:

- Corrente continua e voltaggio costante: queste sorgenti sono utilizzate in saldatura semi-automatica con correnti tra 300 A e 600 A e fili di diametro compreso tra 1.6 mm e 2.4 mm. In caso di processo automatico le correnti possono arrivare anche oltre i 1000 A e il filo può avere un diametro fino a 6.4 mm. La configurazione elettrica qui analizzata, sfruttando l'effetto di autoregolazione della sorgente, consente di utilizzare sistemi di trascinamento del filo a velocità costante e quindi macchine per saldatura più semplici ed economiche. La non costanza della corrente di saldatura, però, può causare un riscaldamento disomogeneo del materiale soprattutto in caso di processi semi-automatici, nei quali l'oscillazione della testa di saldatura sono più ampie. La polarità solitamente più impiegata in questo caso è quella inversa (soprattutto per la saldatura), saltuariamente si può trovare anche polarità diretta per la realizzazione di ricoprimenti superficiali.
- Corrente continua e corrente costante: questa configurazione viene utilizzata con correnti fino a 1500 A e necessita di un sistema di regolazione automatica della velocità del filo per mantenere l'arco a lunghezza costante in quanto la caratteristica statica del generatore non favorisce l'autoregolazione. Le sorgenti di questo tipo sono le più avanzate, ma anche le più costose e complesse dal punto di vista elettrico e consentono di avere le migliori distribuzioni di calore sul pezzo grazie alla costanza della corrente. Per quanto riguarda le polarità impiegate

valgono le considerazioni del punto precedente.

- Corrente alternata: questo tipo di sorgente viene utilizzato sia a tensione costante che a corrente costante, soprattutto quando le correnti sono molto alte (superiori a 1000 A) e si hanno problemi di soffio magnetico. La forma d'onda in uscita può essere sia sinusoidale che quadra: il primo caso favorisce la stabilità dell'arco, mentre nel secondo la rapida inversione di polarità ad ogni ciclo, favorita dalla forma d'onda molto ripida, consente di impiegare una maggiore varietà di flussi.

3.6.2 I flussi: i flussi che possono essere impiegati in caso di saldatura ad arco sommerso sono fondamentalmente di due tipi:

- **Pre-fusi:** sono caratterizzati dal fatto che durante la loro fabbricazione tutti i componenti vengono messi in forno per creare un amalgama fluido che viene poi colato in forme e macinato alla granulometria desiderata. L'azione che tali flussi esercitano sul bagno è quella di creare una scoria fluida e leggera, che galleggia sul bagno di saldatura proteggendolo dalla contaminazione con l'atmosfera, e di arricchire la zona fusa di silicio con conseguente rischio di fragilizzazione del giunto. Gli accorgimenti principali da utilizzare con questi flussi sono:
 - Impiegare, in caso di saldatura di acciai, fili d'apporto contenenti manganese per facilitare la disossidazione del bagno.
 - Evitare di realizzare giunti con sovrapposizione di numerose passate per limitare la contaminazione da silicio del giunto. Questo tipo di flusso ha il vantaggio di avere una composizione chimica molto omogenea, di essere scarsamente igroscopico e di essere parzialmente riciclabile dopo il processo.
- **Agglomerati:** i componenti vengono pre-macinati e posti in forno assieme ad un agglomerante. In questo modo le temperature di cottura sono basse e non si ha fusione dei componenti, ciò non consente alle reazioni chimiche tra di essi di avvenire completamente, come succede invece nei pre-fusi, conservando il potere disossidante del flusso nei confronti del bagno fuso. Grazie a queste caratteristiche i flussi agglomerati possono avere caratteristiche acide (prettamente disossidanti), neutre (parzialmente disossidanti e parzialmente depuranti), basiche (prettamente depuranti). Utilizzando questo tipo di flussi è dunque opportuno scegliere fili d'apporto a ridotto contenuto di silicio e manganese, mentre si possono saldare anche materiali suscettibili alle cricche a caldo. Per quanto riguarda gli svantaggi occorre sottolineare che la mancata fusione dei componenti durante la fabbricazione provoca una accentuata attitudine igroscopica dei flussi agglomerati e l'impossibilità di essiccare questi ultimi ad alta temperatura. Queste prerogative rendono sconsigliato il loro utilizzo nella saldatura di materiali suscettibili all'inquinamento da idrogeno. Un'ulteriore menzione riguarda l'impossibilità di riutilizzare la porzione di flusso non fusa durante il processo, in quanto l'elevata temperatura con la quale questa viene a contatto può deteriorarne le caratteristiche chimiche.
- **Misti:** si possono miscelare in proporzioni opportune i flussi precedentemente analizzati per ottenere caratteristiche intermedie e creare una protezione adatta alle diverse esigenze. Queste miscele non sono solitamente riciclabili e sono difficilmente essiccabili qualora abbiano assorbito umidità. La composizione di flussi può prevedere anche ferroleghie ed elementi leganti per modificare le

caratteristiche metallurgiche del bagno.

3.6.3 Tecniche di accensione dell'arco: l'accensione dell'arco può avvenire in diverse modalità:

- Con sfera di paglietta metallica: una sfera di paglietta metallica di diametro 10mm funge da conduttore tra la punta del filo e il materiale base. In questo modo l'arco si accende in maniera meno brusca e si evita l'incollaggio dell'elettrodo sul pezzo.
- Con elettrodo appuntito: l'estremità del filo viene appuntita per evitare incollature.
- Con flusso fuso: fondendo preventivamente parte del flusso si ottiene una pozza liquida conduttrice nella quale scocca l'arco non appena è toccata dal filo.
- Con sistema a ritrazione: il filo è portato a contatto del pezzo e ritratto successivamente di qualche millimetro per favorire l'accensione dell'arco. Questo è il metodo più rapido ed efficace quando la frequenza delle accensioni è elevata, ma necessita di attrezzature di saldatura predisposte per questo tipo di modalità.

3.6.4 Vantaggi e svantaggi: come conclusione alla trattazione del processo ad arco sommerso si possono riassumere i pregi:

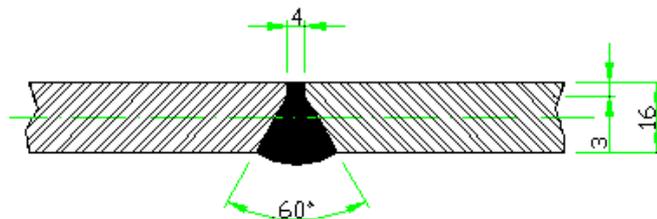
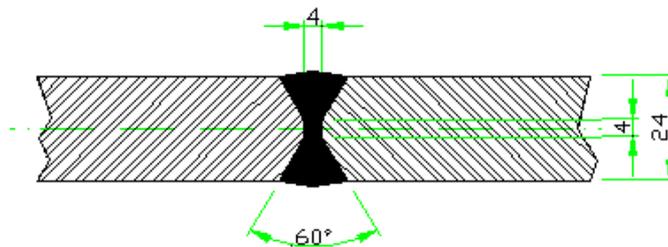
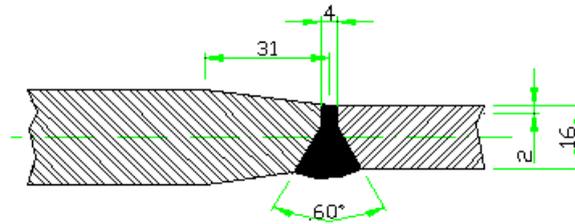
- Possibilità di saldare pezzi di elevato spessore e dimensione.
- Elevata produttività.
- Applicabilità in ambito di carpenteria pesante e cantieristica navale.

I punti deboli invece sono:

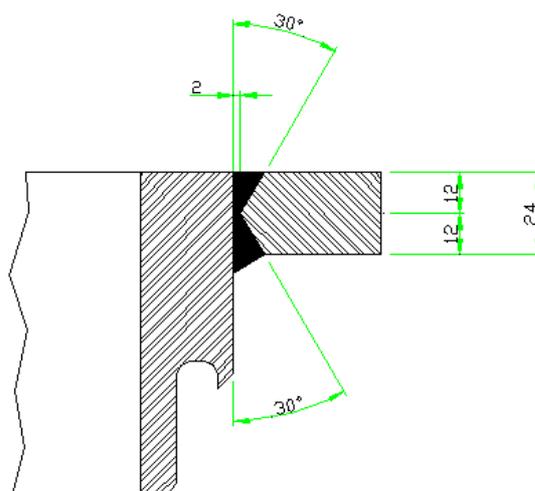
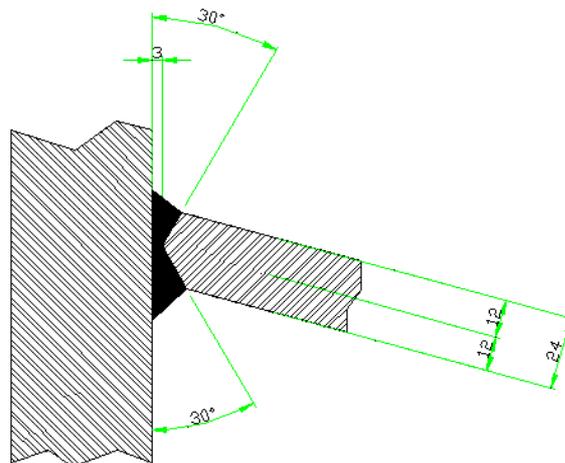
- Rigidità di processo che limita la sua applicazione a cordoni rettilinei in piano o su particolari assialsimmetrici.
- Esclusiva applicazione automatica o semi-automatica.
- Impossibilità di saldare materiali reattivi come leghe di alluminio magnesio, titanio e rame.

3.6.5 Saldature con metodo SAW:

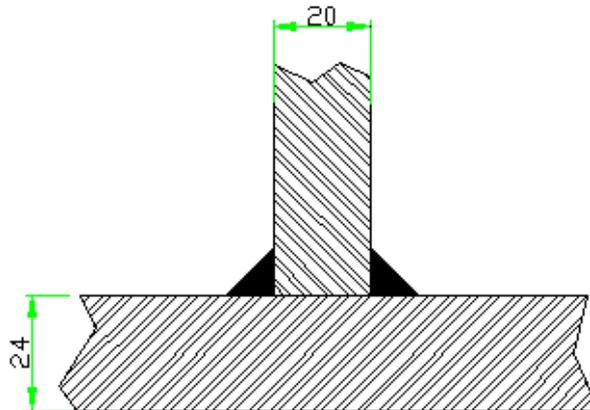
WPS	10-132-03	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	16÷45
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SAW 364	Amp. range	300÷400
applicabilità	Saldature circonferenziali mantello e fondi	Volt range	24÷26
elettrodo	L 61	Velocità di traslazione (mm/min.)	350 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2		



WPS	10-132-05	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	16÷45
metallo base	SA 516 Gr.70	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SAW 364	Amp. range	300÷400
applicabilità	Connessioni a mantello	Volt range	24÷26
elettrodo	L 61	Velocità di traslazione (mm/min.)	350 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2		

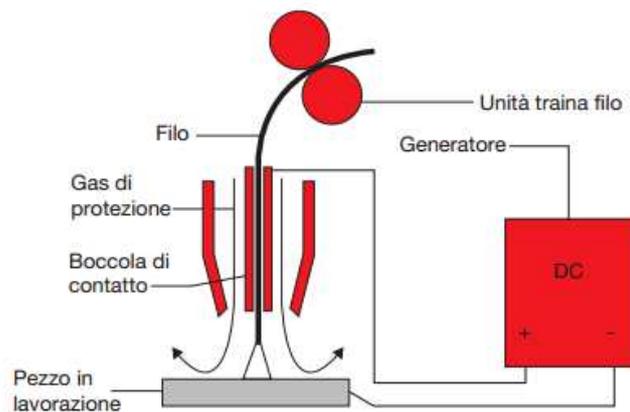


WPS	10-132-07	Gamma di spessori: scanalatura (mm)	Non necessaria
metallo base	SA 516 Gr.70	Tipo di polarità	DC-RP
PQR	SAW 364	Amp. range	300÷400
applicabilità	Anello di irrigidimento e piastre a mantello	Volt range	24÷26
elettrodo	L 61	Velocità di traslazione (mm/min.)	350 minimo
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	3,2		



3.7 Automatico con filo animato

FCAW: la saldatura a filo animato è una variante del procedimento MIG / MAG e prevede l'utilizzo di un materiale d'apporto cavo all'interno e riempito con un flusso granulare che ha caratteristiche e funzioni molto simili a quelle viste nel caso del rivestimento degli elettrodi. Le attrezzature utilizzate nel procedimento FCAW sono le stesse presentate nel caso della saldatura MIG / MAG, ma la differente possibilità di utilizzo di queste determina l'esistenza di due varianti fondamentali di processo:



- Saldatura a filo animato auto-protetta: non vi è l'utilizzo di gas di copertura, in quanto l'azione isolante è determinata dai fumi che si liberano dal flusso a contatto con l'arco.
- Saldatura a filo animato a copertura gassosa: è richiesto l'utilizzo di una copertura gassosa in maniera del tutto simile a quella analizzata nel caso del procedimento MIG / MAG. Il flusso contenuto nel materiale d'apporto ha un ruolo ben preciso nel processo, in particolare questo consente di:
 - Adattare il comportamento del materiale d'apporto a seconda che si vogliano grandi tassi di deposizione per saldature in piano oppure si prediligano caratteristiche idonee ai procedimenti verticali o sopratesta.
 - Apportare elementi al bagno che ne migliorino le caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione.
 - Proteggere adeguatamente il materiale fuso dalla contaminazione con gli agenti atmosferici.
 - Eliminare impurezze ed inquinanti da materiali a composizione non certa.
 - Disossidare il bagno di fusione.
 - Ricoprire il materiale fuso con una scoria che ne migliori le caratteristiche estetiche e costituisca un'ulteriore protezione dall'inquinamento esterno.
 - Stabilizzare l'arco mediante l'introduzione di elementi che favoriscano la ionizzazione dell'atmosfera di saldatura.

3.7.1 Sorgenti: le sorgenti utilizzate più comunemente hanno caratteristiche del tutto simili a quelle tipiche dei procedimenti MIG / MAG e solitamente presentano caratteristiche statiche di tipo piatto per favorire l'autoregolazione della lunghezza dell'arco. Esistono tuttavia anche sorgenti a risposta cadente che garantiscono maggiore costanza nell'erogazione di corrente, ma necessitano di un sistema di regolazione elettronica in retroazione della lunghezza dell'arco per mantenere il processo stabile anche in caso di saldatura manuale. La polarità di alimentazione può essere CCPI ma anche CCPD, in quanto il flusso può contenere elementi stabilizzanti dell'arco che non determinano l'obbligo di collegare il filo d'apporto al polo positivo. Le correnti utilizzate possono superare 600 A, mentre il diametro del filo varia da 0.8 mm a 4 mm. In caso si debba utilizzare un gas di copertura, le miscele più comunemente impiegate sono 100% CO_2 e 75% Ar 25% CO_2

3.7.2 Applicazioni e vantaggi: i materiali comunemente saldabili con questo procedimento

sono l'acciaio al carbonio, basso legati, inossidabili, le ghise, nonché le leghe di nickel e si possono trovare applicazioni sia manuali che automatiche. Concludendo si possono enunciare i vantaggi del processo a filo animato:

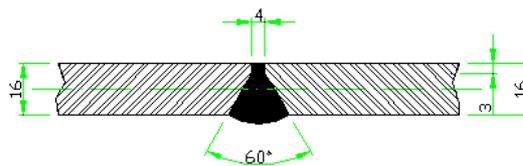
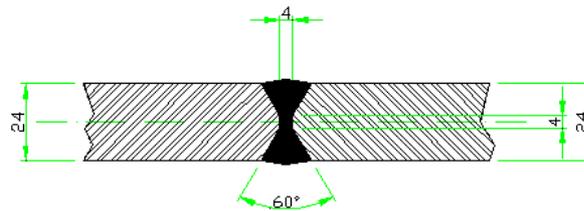
- Possibilità di apportare elementi leganti al bagno di fusione.
- Migliore azione depurante e disossidante nei confronti del materiale base rispetto alla tecnologia MIG / MAG.
- Possibilità di saldare anche senza gas di assistenza con conseguente applicabilità del processo all'aria aperta.
- Buona adattabilità a tutte le posizioni di saldatura.

Per quanto riguarda i punti deboli, invece, è opportuno sottolineare:

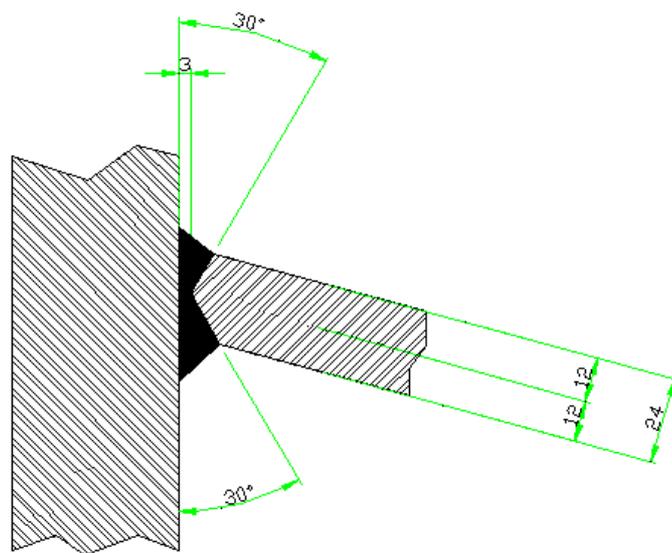
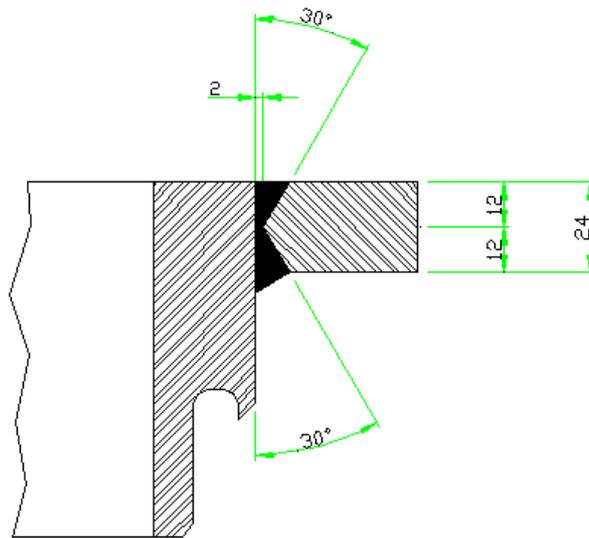
- Necessità di rimuovere la scoria dopo la saldatura.
- Impossibilità di saldare leghe di alluminio, di magnesio, e di titanio.
- Costo elevato del filo animato.
- Produzione abbondante di fumi che spesso richiedono sistemi di estrazione.

3.7.3 Saldature con metodo FCAW:

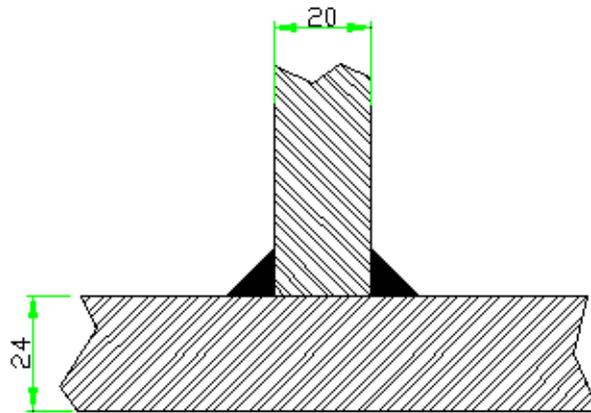
WPS	10-132-02	Tipo di polarità	DC-RP
metallo base	SA 516 Gr.70	Amp. range	110÷150
PQR	FCAW 614	Volt range	21÷24
applicabilità	Saldature mantello e fondi	Velocità di traslazione (mm/min.)	86,3 minimo
elettrodo	OK Tubrod 15,45	Gas	/
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	1,2 flux cored	Portata l/min.	/
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	12÷24		



WPS	10-132-06	Tipo di polarità	DC-RP
metallo base	SA 516 Gr.70 SA 350 Gr.LF2	Amp. range	110÷150
PQR	FCAW 614	Volt range	21÷24
applicabilità	Conessioni a mantello	Velocità di traslazione (mm/min.)	86,3 minimo
elettrodo	OK Tubrod 15,45	Gas	Ar + CO ₂
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	1,2 flux cored	Portata l/min.	15÷17
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	12÷24		



WPS	10-132-08	Tipo di polarità	DC-RP
metallo base	SA 516 Gr.70	Amp. range	110÷150
PQR	FCAW 614	Volt range	21÷24
applicabilità	Anello di irrigidimento e piastre a mantello, connessioni a flange cieche	Velocità di traslazione (mm/min.)	86,3 minimo
elettrodo	OK Tubrod 15,45	Gas	$Ar + CO_2$
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	1,2 flux cored	Portata l/min.	15÷17
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	Non necessaria		



WPS	10-132-10	Tipo di polarità	DC-RP
metallo base	SA 516 Gr.70	Amp. range	110÷150
PQR	FCAW 614	Volt range	21÷24
applicabilità	Anello di irrigidimento	Velocità di traslazione (mm/min.)	86,3 minimo
elettrodo	OK Tubrod 15,45	Gas	$Ar + CO_2$
Dim. metallo d'app. per passate consecutive	1,2 flux cored	Portata l/min.	15÷17
Gamma di spessori: scanalatura (mm)	Non necessaria		

Capitolo 4

Procedura radiografica per serbatoi di stoccaggio in accordo al codice api std 650

4.1 Argomento e Scopo: di seguito vengono forniti i requisiti minimi necessari all'esecuzione dell'esame radiografico di saldature di materiali in acciaio (lamiere, tubi e raccordi) con l'impiego di raggi X o raggi gamma in accordo ai Codici API STD 650 ASME sezione V e VIII Div. 1.1.2. La procedura prevede la tecnica a singolo e doppio film, l'estensione dei controlli sarà indicata sul Piano di Controllo Qualità (PCQ) di progetto.

4.2 Generalità: un'immagine radiografica di buona qualità deve presentare distorsione minima, definizione elevata, contrasto alto e densità adeguata: ciò è funzione della tecnica esecutiva adottata e del trattamento di sviluppo della pellicola. Da un punto di vista operativo, si può dire che ogni tecnica che riesca ad ottenere da una pellicola i quattro requisiti indicati, è la migliore. In generale sarà impossibile soddisfare al massimo grado tutti i requisiti e la via che l'operatore deve seguire è quella con ottimizzare uno o più dei quattro senza compromettere la qualità degli altri. Di seguito ci si propone di fornire alcune indicazioni sui criteri di scelta delle molte variabili che si hanno nell'esecuzione di una radiografia per la corretta esecuzione del controllo di materiali diversi di diverso spessore. Si ricorda comunque che l'esposizione è solo un momento, anche se importante, del processo radiografico; altrettanto importante è il trattamento della pellicola in camera oscura, che non eseguito correttamente può vanificare i risultati di una buona esposizione.

4.3 Qualifica del Personale: il personale che esegue gli esami radiografici deve essere qualificato in accordo con Recommended Practice SNT-TC-1A o equivalente.

4.4 Accessori: al fine di ottenere un'immagine radiografica di buona qualità, oltre a sorgente di radiazione, pezzo in esame e pellicola, che sono indispensabili, sono necessari alcuni accessori che riportiamo di seguito:

- diaframmi e collimatori
- filtri;
- maschere
- indicatori di qualità d'immagine
- cuneo a gradini
- misuratore di lunghezze e d'angoli
- posizionatori
- marche di identificazione e di orientazione
- materiali di protezione
- densitometri
- carte dell'esposizione per raggi X e gamma
- curve di decadimento per sorgenti di raggi gamma
- curve caratteristiche della pellicola
- tavole dei fattori di equivalenza radiografica

4.4.1 Raggi X: i fattori dell'esposizione quando si usano raggi X sono: tensione anodica, intensità di corrente anodica e tempo:

- **Intensità di corrente anodica:** al variare della corrente varia il numero di raggi emessi dall'apparecchiatura; questi hanno praticamente identiche caratteristiche di durezza, cioè stessa energia di penetrazione. Per questo motivo, per il vantaggio conseguente di ridurre i tempi di esposizione, è sempre conveniente lavorare alla massima corrente di funzionamento del tubo

- **Tensione anodica:** al variare della tensione invece variano sensibilmente le caratteristiche di durezza della radiazione emessa, e si ha inoltre un effetto secondario sulla intensità dei raggi (la tensione anodica influenza anche infatti, per effetto "campo", il numero di elettroni che lasciano il filamento di tungsteno, e perciò la corrente anodica stessa). Occorre esplicitamente osservare che maggiore è la tensione applicata al tubo, minore è il contrasto del soggetto e di conseguenza il contrasto radiografico ottenibile. La maggior parte degli isotopi radioattivi emettono radiazioni che sono equivalenti energeticamente a quelle generate da apparecchiature ad alta tensione e perciò il contrasto cui danno luogo è generalmente minore di quello ottenibile con la maggior parte delle unità a raggi X. Occorre dire però che la radiazione diffusa in tal caso è generalmente bassa, essendo particolarmente energetici i raggi primari; per quest'ultimo effetto la definizione può migliorare, anche se la maggior durezza delle radiazioni può aumentare la granulosità della pellicola e perciò agire in senso sfavorevole sulla sensibilità finale: i risultati più accettabili si raggiungono con isotopi di minor durezza, come l'Iridio. Utilizzando una apparecchiatura a raggi X, si segnala che per ottenere la migliore sensibilità radiografica (in particolare miglior contrasto del soggetto), si dovrebbe scegliere la minore tensione anodica possibile, compatibilmente con il mantenere il tempo di esposizione a valori non troppo elevati. La scelta della tensione è limitata verso il basso dall'eccessiva radiazione secondaria provocata e verso l'alto dal ridotto contrasto del soggetto fornita. Il valore di intensità di corrente anodica adottata è in genere quello massimo che il tubo può sopportare: il valore del tempo di esposizione resta quindi individuato una volta noto il valore dell'esposizione. Come regola pratica, si cerca per evidenti ragioni di evitare tempi troppo lunghi (oltre 3 min.) e non si adottano neppure tempi troppo brevi (minori di 1 min.), preferendo usare radiazioni più molli (minori kV) e tempi maggiori, che forniscono migliori contrasti. Sotto si vedono due tipi di contrasto ottenuti con due macchine differenti (Fig. 5.4)

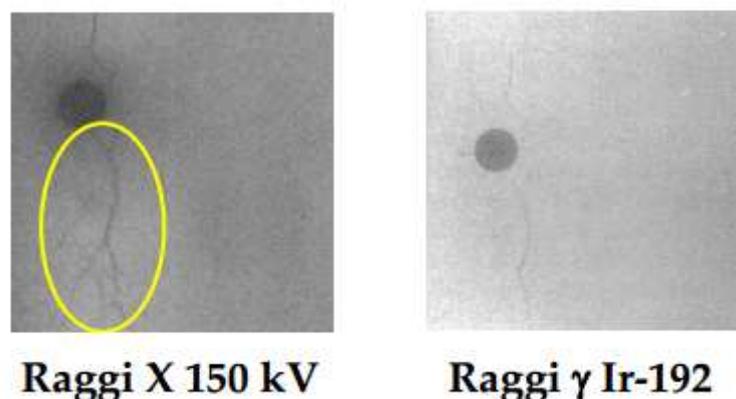


Fig. 5.4

4.4.2 **Raggi Gamma:** i fattori dell'esposizione quando si usano raggi gamma sono: energia della sorgente, attività della sorgente e il tempo:

- **Tempo:** le carte dell'esposizione per raggi gamma indicano gli adatti valori per ogni applicazione

- **Energia della sorgente:** l'energia della sorgente (determinata dalla lunghezza d'onda delle radiazioni emesse) dipende dalla sorgente di radioisotopi e rimane costante
- **Attività della sorgente:** l'attività della sorgente è funzione del tempo di decadimento del radioisotopo e deve essere nota al momento dell'uso. Poiché l'attività della sorgente e il tempo sono inversamente proporzionali, l'entità del tempo di esposizione richiesto viene determinata dall'attività della sorgente

I raggi gamma trovano impiego nei casi in cui si rendono necessari radiazioni ad alta energia, o ancora quando si vogliono esporre molti pezzi contemporaneamente. Ancora, si utilizzano i raggi gamma quando sia necessario raggiungere zone ristrette in cui l'apparecchiatura per raggi X, più ingombrante, non è trasportabile o dove non sono disponibili prese per l'alimentazione elettrica. Come sopra indicato, va in ogni caso ricordato che con l'uso dei raggi X si ha una migliore sensibilità (cioè qualità radiografica) dovuta al tempo di esposizione più elevato rispetto ai raggi gamma. Quando vengono impiegati raggi X il voltaggio massimo non deve eccedere i valori della Tabella 5.6. Si potranno impiegare le radiazioni gamma da isotopo radioattivo iridio 192 per spessori non inferiori a 19,05 mm.

- Il massimo spessore radiografabile con l'isotopo dipende fondamentalmente dal tempo di esposizione, e di conseguenza non è possibile determinarlo a priori.
- Il minimo spessore raccomandato può essere ridotto se la procedura radiografica l'usata mostra che sia stata conseguita la sensibilità richiesta.

Spessore tipico HVL acciaio

Energia	Spessore	
	pollici	mm
120 kV	0,10	2,5
150 kV	0,14	3,6
200 kV	0,20	5,1
250 kV	0,25	6,4
400 kV (Ir 192)	0,35	8,9
1 Mv	0,57	14,5
2 Mv	0,80	20,3
4 Mv	1,00	25,4
6 Mv	1,15	29,2
10 Mv	1,25	31,8
16 Mv e oltre	1,30	33,0

Tabella 5.6

4.5 Carta dell'esposizione per raggi X: per determinare la corretta esposizione radiografica per un dato pezzo, si possono seguire vari metodi tra cui:

- procedere per tentativi
- far riferimento a dati di esposizione precedenti
- far riferimento ad una carta delle esposizioni

Eccetto il caso in cui il pezzo da esaminare è costituito da assemblaggi di materiali di tipo diverso, procedere per tentativi non è raccomandabile. In qualche caso si può anche determinare il corretto valore dell'esposizione facendo riferimento all'esposizione di un pezzo simile sotto le stesse condizioni che si presentano al momento. Ma in generale è applicando le

informazioni fornite da una carta dell'esposizione che si possono ottenere radiografie di pezzi di sezione uniforme al primo tentativo. Una carta dell'esposizione per raggi X (Fig. 5.5) indica graficamente la relazione tra spessore del materiale ed esposizione al variare della differenza di potenziale imposta fra gli elettrodi. La carta dell'esposizione viene utilizzata per determinare l'esposizione di pezzi di spessore uniforme: se ne possono comunque trarre indicazioni, anche se di massima, quando si debba radiografare un pezzo con notevoli variazioni di spessore. Le carte, che vengono fornite dal fabbricante dell'apparecchiatura, sono state ricavate con adeguata precisione, ma vanno utilizzate con attenzione, considerando che danno indicazioni valide con una approssimazione del 10%, poiché l'apparecchiatura con la quale sono state ottenute non è esattamente quella in nostro possesso; va ricordato infatti che non esistono due apparecchi perfettamente identici. Se si vuole ottenere una carta più precisa, è bene realizzare le proprie carte di esposizione, ottenute con la propria apparecchiatura, valide per i materiali che più di frequente si radiografano e per i tipi di pellicole, condizione di trattamento e operative che solitamente si adottano.

ESEMPIO DI CARTA DI ESPOSIZIONE AI RAGGI X

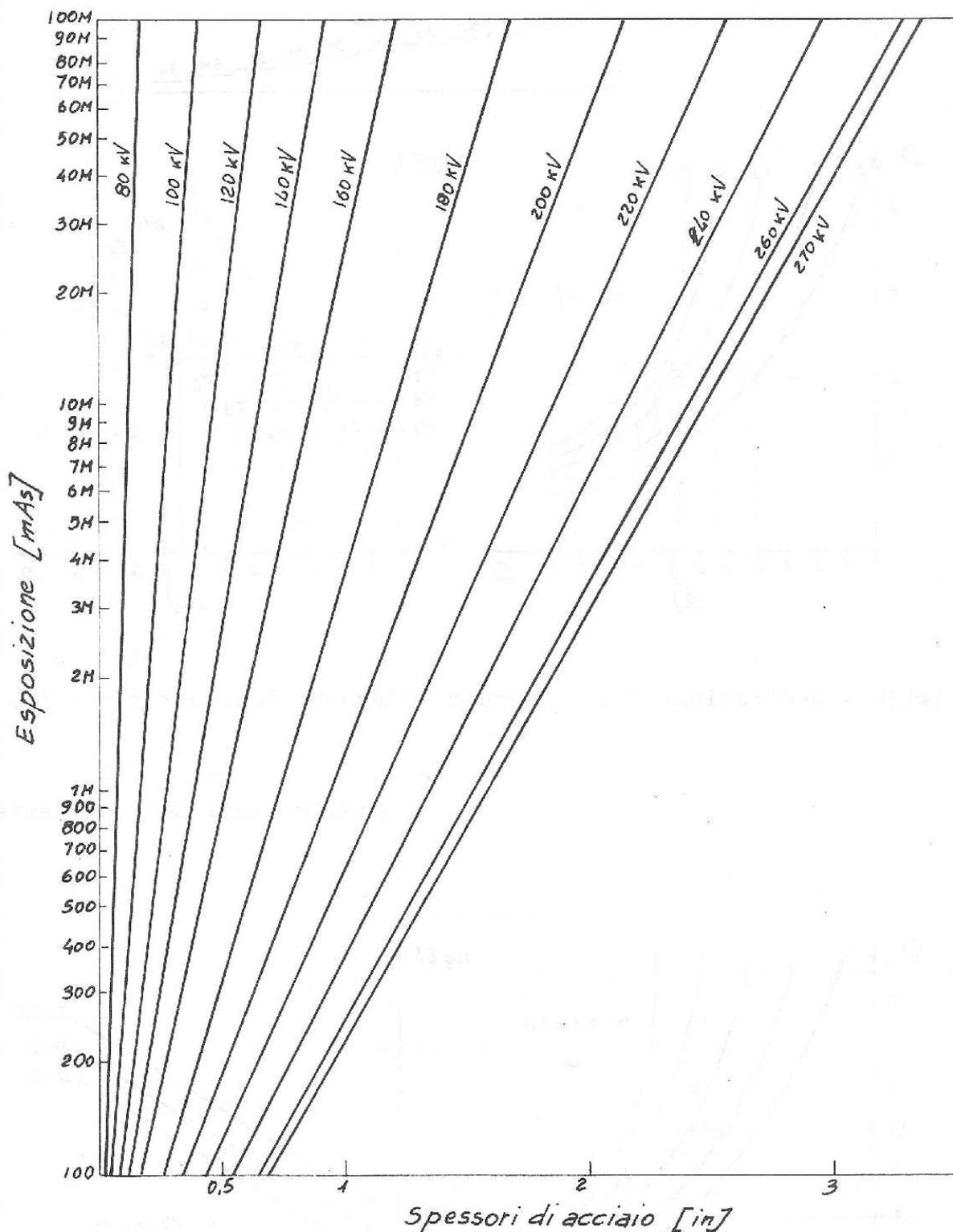


Fig 5.5

4.5.1 **Calibrazione:** l'apparecchio per raggi X va calibrato dal costruttore, in accordo al programma di calibrazione. I dati della sorgente (massime dimensioni effettive della sorgente) sono comunicati direttamente dal produttore.

4.6 Pellicole:

4.6.1 **Astucci porta-pellicola:** il loro scopo è quello di proteggere la pellicola dalla luce; possono essere costruiti di molti materiali, compresi gomma, plastica, cartone. Possono essere flessibili, per permettere di adattare la pellicola alla superficie del pezzo da radiografare, in modo da rendere minima la distanza pezzo pellicola.

4.6.2 **Contrasto della pellicola, rapidità, granulosità:** si è già parlato delle caratteristiche delle pellicole. Si può riassumere che, qualora siano richiesti, per le condizioni particolari in cui è effettuato il controllo o per ragioni di sensibilità radiografica richiesta particolarmente elevata, si utilizzano film a bassa granulosità, e perciò ad alta definizione e ad elevato contrasto. Pellicole di tali caratteristiche sono necessariamente a bassa rapidità, cioè lente (per rapidità relativa di una pellicola si intende l'inverso della esposizione relativa necessaria per ottenere un certo annerimento prefissato) in quanto tale è il loro processo di sensibilizzazione alla radiazione. Tanto meno è necessaria elevata sensibilità, tanto più si può ricorrere a pellicole più veloci, che forniscono cioè bassi valori di contrasto e di definizione, ma per esposizioni inferiori.

4.6.3 Sviluppo della Pellicola:

- per lo sviluppo eseguito manualmente valgono le seguenti indicazioni:
 - I. Sviluppo in bagno, agitando la pellicola per facilitare lo sviluppo.
 - II. Lavaggio intermedio in acqua corrente agitando la pellicola per almeno 30 secondi in senso verticale e orizzontale.
 - III. Fissaggio in bagno, in cui il tempo di fissaggio relativo alle indicazioni del fabbricante. e generalmente compreso tra i 10 e i 15 min.
 - IV. Lavaggio finale per 10 - 15 minuti almeno, in acqua corrente.
 - V. Asciugatura in aria calda, Sviluppo automatico
- lo sviluppo automatico sarà eseguito in accordo con le raccomandazioni del fabbricante della sviluppatrice.

Le radiografie non devono presentare danni meccanici, chimici o altri tali da poter mascherare o essere interpretati come indicazioni false nell'area interessata. Tali danni possono essere, ma non si limitano a:

- velo
- difetti di sviluppo quali strisce, segni d'acqua o scolorimenti chimici
- graffi, impronte di dita, pieghe, sporcizia dovuta a carica statica, macchie o lacrime.
- false indicazioni dovute a schermi difettosi

4.6.4 **Pellicole usate:** sono impiegate pellicole radiografiche del tipo indicato in Tabella 5.7. Oltre a quelle attualmente indicate potranno essere adottate altre marche di film purché venga dimostrato l'ottenimento dei prescritti requisiti qualitativi.

Pellicole Utilizzate

PRODUTTORE	TIPO DEL FILM
AGFA-GEVAERT KODAK	D4 MX
AGFA-GEVAERT KODAK	D7 Ax

Tabella 5.7

4.7 Schermi di Rinforzo: quando si eseguono esami radiografici devono essere usati schermi di rinforzo se permessi dalla Sezione del Codice di riferimento, poiché meno dell'1% dell'energia del fascio che colpisce la pellicola viene assorbito per creare l'immagine. Vengono utilizzati proprio allo scopo di aumentare questa bassa percentuale di assorbimento. Gli schermi che si usano sono di due tipi, fluorescenti e al piombo e sono contenuti nell'astuccio porta-pellicola. Gli schermi fluorescenti consistono in una polvere di materiale fluorescente, tungsteno di calcio, depositato su un foglio di plastica o di cartone. Quando viene colpito dalle radiazioni il materiale fluorescente emette luce in proporzione alla quantità di radiazione che lo colpisce. Vengono usati in coppia con la pellicola, disposta fra i due schermi. Durante l'esposizione, l'effetto fotografico sulla pellicola è la somma degli effetti della radiazione che ha colpito la pellicola e della luce emessa dallo schermo, poiché la luce che emettono è diffusa, la definizione dell'immagine decade. Per ridurre, seppur di poco, l'effetto negativo della diffusione della luce, pellicole e schermi devono essere portati a contatto quanto più possibile. Il rapporto tra i valori dell'esposizione senza schermi e con schermi è detto fattore di rinforzo. Gli schermi fluorescenti hanno un alto fattore di rinforzo che permette una riduzione di esposizione fino al 95%. Questo però è il solo vantaggio che il loro uso presenta; infatti a causa della scarsa definizione che inducono nell'immagine, possono essere adottati solo in speciali applicazioni, quando è necessario un breve tempo di esposizione ed è possibile mascherare il pezzo per ridurre la radiazione diffusa, poiché danno origine ad una grana troppo grossa quando esposti a radiazioni di elevata energia, vengono utilizzati solo per applicazione con radiazioni a bassa energia. Per evitare la formazione di ombre che potrebbero trarre in inganno nell'interpretazione dei difetti, si raccomanda una pulizia accurata degli schermi, è consigliato di toccare la loro superficie il meno possibile. Per ogni altra operazione si raccomanda di seguire accuratamente le indicazioni del fabbricante. Gli schermi al piombo sono generalmente costruiti con una lega di antimonio e piombo, che è più rigida, più dura e di maggiore resistenza all'usura del piombo puro. Anch'essi vanno usati in coppia con la pellicola in mezzo, a stretto contatto, per migliorare la definizione dell'immagine. Lo spessore degli schermi da usare dipende dal pezzo in esame e dall'energia della radiazione e nella maggior parte delle applicazioni lo schermo anteriore è più sottile del posteriore. Gli schermi posteriori di spessore più elevato possono essere usati se è desiderata una maggior protezione dalle radiazioni retro diffuse; a questo scopo è comunque buona pratica prevedere l'uso di lastre di piombo di adeguato spessore da interporre tra l'astuccio contenente la pellicola e gli schermi e il terreno sottostante. Gli schermi al piombo sono particolarmente utili per la capacità che presentano di assorbire radiazioni diffuse, oltre che per l'azione di rinforzo dell'effetto fotografico sulla pellicola. L'effetto di rinforzo è il risultato della liberazione di elettroni dagli atomi di piombo per effetto fotoelettrico, quando sono sottoposti a radiazioni di sufficiente energia: l'energia posseduta dagli elettroni liberati è facilmente assorbita dall'emulsione della pellicola, e ne intensifica la sensibilizzazione. In ogni caso il fattore di rinforzo degli schermi al piombo è minore di quello degli schermi fluorescenti. Quando si utilizzano radiazioni a bassa energia (inferiore a circa 120 kV), può capitare che l'effetto di assorbimento dello schermo anteriore sia tale da richiedere un'esposizione

maggiore che nel caso di esposizione senza schermo. Però, a causa della loro capacità di ridurre gli effetti delle radiazioni diffuse e di procurare un contrasto ed una definizione migliori all'immagine radiografica, gli schermi al piombo vengono usati ogni qualvolta sia possibile. Anch'essi devono essere conservati quanto più possibile con cura: devono essere esenti da polvere e grassi, poiché queste sostanze hanno grande capacità di assorbire elettroni e possono quindi assorbire gli elettroni emessi dagli schermi, vanificando la loro opera di rinforzo. Si possono pulire con tetraclorato di carbonio o anche con finissima lana di ferro che procura sottilissime striature sulla superficie dello schermo, che però non danno alcun effetto negativo sull'immagine finale. Ben altro negativo effetto causano invece rigature profonde, crespature o infossamenti che modificano la regolarità dello schermo e possono provocare immagini spurie sul radiogramma. Nel nostro caso sono impiegati i seguenti schermi in piombo:

- Raggi X Schermi frontali 0,05 mm Schermi posteriori 0,10 mm
- Raggi Gamma (iridio 192): Schermi Frontali e posteriori 0,10 mm

4.8 Radiazioni Retrodiffuse: non possono mai essere eliminate, ma i loro effetti possono essere minimizzati limitando la possibilità di creazione delle radiazioni diffuse e anche impedendo ad esse di raggiungere la pellicola. I filtri, posti fra la sorgente ed il pezzo, assorbono una cospicua parte dei raggi "mollini" che potrebbero produrre radiazioni secondarie diffuse, non collimate con quelle primarie, e vengono generalmente utilizzati con le apparecchiature per la generazione di raggi X. Non sono invece richiesti nella radiografia con isotopi, a causa dell'alta energia dei raggi gamma emessi e del loro spettro di emissione che non è continuo ma avviene su frequenze caratteristiche. Gli schermi di piombo, oltre alla funzione di rinforzo dell'immagine latente, hanno la funzione di assorbire le radiazioni diffuse. Gli schermi di piombo sono largamente i più usati. Sono disponibili schermi di quasi ogni spessore ne esistono anche di sottilissimi, da usarsi per la radiografia di spessori sottili. Gli schermi salini a causa della perdita di definizione che è associata con il loro uso, non sono mai usati, se non nel caso di speciali applicazioni con radiazioni a bassa energia. L'uso di collimatori e di diaframmi consente di ridurre l'entità delle radiazioni secondarie limitando le dimensioni del fascio in modo da investire solo la zona di interesse. Per limitare la possibilità di generare radiazioni secondarie, quando il pezzo presenta disuniformità geometriche, si usano mascherature o di piombo o di argilla di bario o pallini di metallo o ancora altri materiali assorbenti. La funzione della mascheratura è la stessa di quella dei filtri, ma mentre questi ultimi assorbono solo radiazioni "mollini", la mascheratura, se di entità rilevante, oltre ai raggi mollini, assorbe anche una parte di quelli a più alta energia; ciò può essere utile quando la mascheratura è utilizzata per ugualizzare l'assorbimento di sezioni diverse, anche se la perdita di dettaglio può essere rilevante nelle sezioni più sottili. Nel nostro caso vengono utilizzati schermi di piombo posizionati dietro il contenitore della pellicola.

Le gamme di spessori, indicativamente saranno;

per raggi X	2 a 5 mm
per raggi gamma	minimo 2 mm

Per controllare la radiazione retrodiffusa verrà posizionata posteriormente ad ogni portafilm una lettera avente dimensioni minime di 12,7 mm di altezza e 1,58 mm di spessore. La radiografia sarà considerata inaccettabile se vi appare un'immagine chiara della "B" su un fondo lastra più scuro.

Un'immagine scura detta "B" su un fondo lastra più chiaro non costituisce viceversa motivo di rigetto

4.9 Tecnica Radiografica:

4.9.1 **Accorgimenti fisici:** il posizionamento della sorgente, del pezzo in esame e della pellicola durante l'esposizione influiscono sulla qualità finale del radiogramma. Nel preparare una esposizione, si deve tenere presente che si vuole ottenere:

- il miglior contrasto radiografico nelle zone di presunta difettosità
- il miglior contrasto radiografico nelle zone più sollecitate
- il minor tempo d'esposizione, compatibilmente con la qualità radiografica

4.9.2 Variabili dell'esposizione radiografica:

- **Movimento:** pezzo, pellicola e sorgente sono facilmente posizionabili e fissabili stabilmente durante l'esposizione.
- **Dimensioni della sorgente:** questo fattore ha una grande influenza sul risultato radiografico. La macchia focale in una apparecchiatura a raggi X varia da 8mm^2 a frazioni di millimetro quadrato; abbiamo già analizzato in altra parte della tesi come convenga, al fine di ottenere minima penombra e perciò migliore definizione, avere dimensioni della sorgente o macchia focale minori possibile.
- **Assorbimento del pezzo e contrasto del soggetto:** sono le sole variabili del procedimento radiografico che non possono essere modificate o controllate dall'operatore radiografico e sono quelle che vincolano la scelta delle altre variabili.

4.9.3 **Distanza fuoco-film:** notiamo, per inciso, che nel caso di apparecchiature per raggi gamma si tratta di distanza sorgente-film. Nella scelta della distanza fuoco-film, occorre considerare tre fattori: dimensioni della sorgente, spessore del pezzo e distanza pezzo-film. Questi fattori sono i responsabili dell'effetto di penombra. Sulla base di queste considerazioni se ne deduce che la penombra geometrica è minima quando massima è la distanza fuoco-film, minime sono le dimensioni della sorgente, minima è la distanza film-pezzo. A tal proposito occorre notare che le dimensioni focali sono comunque dipendenti dall'apparecchiatura in uso, la distanza film-pezzo è tenuta la minima possibile mettendo a contatto, ovunque si possa, la pellicola al pezzo in esame. A proposito della distanza fuoco - film, occorre però rilevare che, data la conicità del fascio delle radiazioni ionizzanti, non è possibile elevarla troppo, pena aumenti in proporzione quadratica dei tempi di esposizione (legge dell'inverso dei quadrati delle distanze). Inoltre, mediamente, l'occhio umano non è in grado di percepire differenze di annerimento che si manifestino in spazi sensibilmente inferiori al mezzo millimetro; per questi motivi, una penombra geometrica massima di 0,5mm è normalmente ritenuta accettabile (per spessore fino a circa 50mm, Norma ASME V). Utilizzando per la lettura del radiogramma dispositivi ottici, ad esempio lenti, con ingrandimento ad esempio pari a 2, il limite massimo della penombra geometrica non dovrebbe essere superiore a 0,25mm (cioè dovrebbe ridursi in proporzione all'ingrandimento).

La minima distanza fuoco-film accettabile tiene conto della penombra massima ammessa: perciò si può ricavare la relazione :

$$DFF = \frac{s \cdot d}{p} + t$$

dove :

- DFF è la distanza fuoco-film o sorgente-film.
- d è la distanza della pellicola dalla superficie superiore del pezzo, corrispondente allo spessore del pezzo quando la pellicola è, come è bene cercare sempre di realizzare, ben aderente al pezzo.

- s è il diametro della sorgente o la dimensione della macchia focale.
- p è la penombra massima ammessa.

Occorre inoltre notare che per avere un ridotto effetto penombra occorre limitare anche la differenza di cammino dei raggi del pezzo. Questo non tanto perché migliori l'entità della penombra geometrica, ma perché zone di ferro attraversate troppo obliquamente dai raggi risulteranno meno annerite, dopo lo sviluppo, in quanto sottoposte a minori esposizioni, e perciò meno contrastate e con minori variazioni locali di densità (fattore che in genere incrementa l'effetto di scarsa definizione dell'immagine). Da questo punto di vista le norme BS 2600 limitano la differenza massima di cammino attraversato a meno del 10% (classe di controllo A) o quello del 6% (classe di controllo B); le Norme ASME Sez. V indicano invece che uno stesso radiogramma può riportare variazioni di annerimento contenute nei limiti 15% e + 30% (variazioni superiori sono ammesse soltanto se è mantenuto comunque un adeguato valore di sensibilità radiografica, comprovato da più indicatori di qualità di immagine).

4.9.4 Disposizione dei Vari Componenti: in funzione della configurazione del materiale, si impiegherà una tecnica a singola parete, ovunque sia praticabile (V. schizzi A, B e C in Tabella 3.1). Si dovrà eseguire un adeguato numero di esposizioni per dimostrare di aver conseguito la copertura richiesta. Per materiali e saldature in componenti ove non sia praticabile la tecnica a singola parete, può essere impiegata la tecnica a doppia parete, per esaminare la singola parete o entrambe in uno dei seguenti modi:

- La radiazione passa attraverso due pareti e viene presa in esame sotto la saldatura o il materiale della parete lato film (vedi schizzi D/E/F di Tabella 3.1 - 3.2).
- Se è richiesto un controllo al 100% della saldatura circonferenziale o del materiale si dovranno eseguire almeno tre esposizioni distanziate di 120° l'una dall'altra.
- Per materiali e saldature in componenti aventi diametro nominale inferiore o uguale a 3" si può impiegare una tecnica nella quale la radiazione passa attraverso due pareti e la saldatura o il materiale viene preso in esame per accettazione in entrambe le pareti sulla stessa radiografia.
- In questo caso si dovrà impiegare solo il penetrametro sul lato sorgente. Si dovrà accertare che la penombra geometrica richiesta non sia superata.
- Se non si può soddisfare ai requisiti relativi alla penombra geometrica, si dovrà prendere in esame la singola parete.
- Per saldature, il fascio di radiazioni può essere deviato dal piano della saldatura di un angolo sufficiente a separare le immagini delle porzioni lato sorgente e lato film in modo che non vi sia sovrapposizione delle aree da interpretare (vedi schizzo G della Tabella 3.2)
- Quando è richiesta copertura al 100%, si dovranno eseguire, per ogni giunto, almeno due esposizioni a 90° l'una dall'altra.
- Se non si può ottenere la richiesta copertura si dovranno effettuare esposizioni aggiuntive.

TECNICHE RADIOGRAFICHE A SINGOLA E DOPPIA PARETE

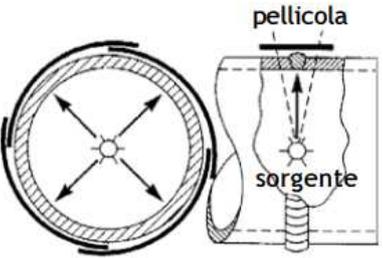
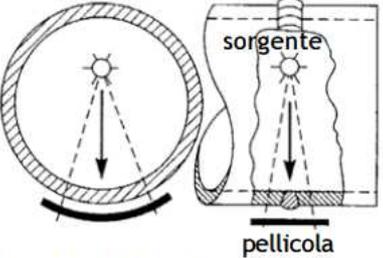
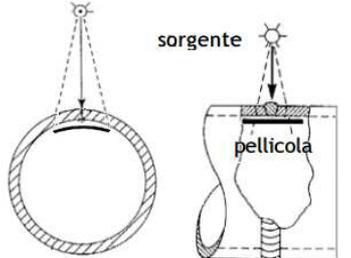
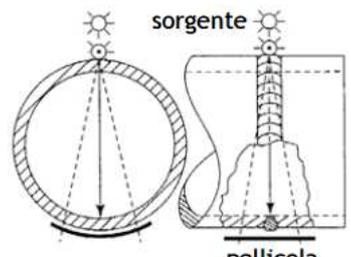
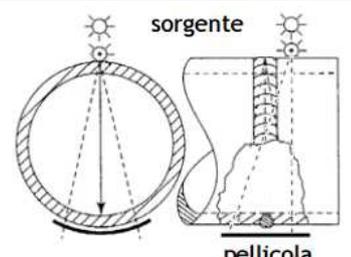
O. D.	Tecnica di esposizione	Vista radiografica	Vista frontale	Vista laterale	I.Q.I.		Disposizione pellicole
					Selezione	Posizionamento	
/	Parete singola T-271.1	Parete singola		CONFIGURAZIONE A	Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a) Lato pellicola T-277.1 (b)	Lato film T-275.3, T-275.1 (c)
/	Parete singola T-271.1	Parete singola		CONFIGURAZIONE B	Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a) Lato pellicola T-277.1 (b)	Lato film T-275.1 (b) (1)
/	Parete singola T-271.1	Parete singola		CONFIGURAZIONE C	Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a) Lato pellicola T-277.1 (b)	Lato film T-275.1 (a) (3)
/	Doppia parete: T-277.2 (a), almeno 3 esposizioni a 120° tra loro per una completa copertura	Parete singola		CONFIGURAZIONE D	Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a) Lato pellicola T-277.1 (b)	Lato film T-275.1 (b) (1)
/	Doppia parete: T-277.2 (a), almeno 3 esposizioni a 120° tra loro per una completa copertura	Parete singola		CONFIGURAZIONE E	Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a) Lato pellicola T-277.1 (b)	Lato film T-275.1 (b) (1)

Tabella 3.1

TECNICHE RADIOGRAFICHE A DOPPIA PARETE

O. D.	Tecnica di esposizione	Vista radiografica			I.Q.I.		Disposizione pellicole
			Vista frontale	Vista laterale	Selezione	Posizionamento	
	Doppia parete: T-277.2 (b) (1), almeno 2 esposizioni a 90° tra loro per una completa copertura		<p>CONFIGURAZIONE F</p>		Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a)	Lato film T-275.2
	Doppia parete: T-277.2 (b) (1), almeno 3 esposizioni da 60° o 120° tra loro per una completa copertura		<p>CONFIGURAZIONE G</p>		Tab. T-276	Lato sorgente T-277.1 (a)	Lato film T-275.2

Tabella 3.2

TABELLA T-276 SELEZIONE I.Q.I.

I.Q.I.						
Intervallo spessore materiale (mm)	Lato Sorgente			Lato Pellicola		
	Tipo foro designazione	Foro essenziale	Tipo filo			
Inferiore 6,4	12	2 T	5	10	2 T	4
9,5 ÷ 12,7	15	2 T	6	12	2 T	5
12,7 ÷ 19,0	17	2 T	7	15	2 T	6
19,0 ÷ 25,4	20	2 T	8	17	2 T	7
25,4 ÷ 38,1	25	2 T	9	20	2 T	8
38,1 ÷ 50,8	30	2 T	10	25	2 T	9
50,8 ÷ 63,5	35	2 T	11	30	2 T	10
63,5 ÷ 101,6	40	2 T	12	35	2 T	11
101,6 ÷ 152,4	50	2 T	13	40	2 T	12
152,4 ÷ 203,2	60	2 T	14	50	2 T	13
203,2 ÷ 254,0	80	2 T	16	60	2 T	14
254,0 ÷ 304,8	100	2 T	17	80	2 T	16
304,8 ÷ 406,4	120	2 T	18	100	2 T	17
406,4 ÷ 508,0	160	2 T	20	120	2 T	18
	200	2 T	21	160	2 T	20

Tabella 4

4.10 Indicatori di Qualità di Immagine: gli indicatori di qualità d'immagine (I.Q.I.), detti in passato penetrametri servono per valutare il risultato finale. La radiografia deve essere eseguita con una tecnica che ottenga una sensibilità sufficiente ad evidenziare l'immagine del penetrametro ed il foro o filo specificato, essendo questi indici essenziali della qualità della radiografia. Sulla radiografia devono inoltre apparire i numeri e le lettere di identificazione. Se l'immagine del penetrametro richiesto e il foro specificato non appaiono sul singolo film nella tecnica a doppio film ma appaiono nell'esame composto dei due film, l'interpretazione è consentita soltanto per esame composto. Si dovranno impiegare i penetrametri standard previsti dell' ASME. La dimensione del foro o filo essenziale e i penetrametri designati sono quelli specificati nella Tabella A per la tecnica a singola e a doppia parete. Nelle Tabelle 5.11 e 5.12 sono indicati i differenti tipi di penetrametri ASME. Si potrà impiegare un foro più piccolo in un penetrametro più grosso, o un foro più largo in un penetrametro più piccolo per qualsiasi spessore di materiale indicato in tabella A purché la sensibilità equivalente dei penetrametri sia mantenuta e tutte le altre richieste siano rispettate. Per saldature, lo spessore su cui si basa la scelta del penetrametro è quello nominale della parete singola aumentata del sovrametallo di saldatura consentito. Anelli o piastrine di sostegno non dovranno essere considerati come parte dello spessore ai fini della scelta del penetrametro. Il penetrametro va collocato sul lato sorgente della parte da esaminare eccetto quando il posizionamento a mano è impedito da inaccessibilità sul lato sorgente. In tal caso va posizionato sul lato film in contatto con la parte da esaminare e si dovrà disporre una lettera di piombo di altezza almeno pari ai numeri di identificazione del penetrametro, in zona adiacente o sullo stesso penetrametro senza che però mascheri il foro essenziale. Per le saldature, i penetrametri possono essere collocati in zona adiacente o sulla saldatura. i numeri di identificazione e la lettera di piombo se impiegata, non devono trovarsi nella zona di interesse ad eccezione di quando la configurazione geometrica rende ciò impraticabile o quando il metallo saldato non è radiograficamente simile al materiale base. Per i materiali, i penetrametri con i numeri di identificazione e la lettera di piombo " F " , se impiegata, possono essere collocati nella zona di interesse. Per componenti ove uno o più portafilm vengono impiegati per un'unica esposizione, deve apparire almeno una immagine di penetrametro su ogni radiografia. Ogni penetrametro deve rappresentare un'area di densità essenzialmente uniforme. Se la densità in un punto qualsiasi attraverso l'area interessata varia di più di -15% o +30% rispetto a quella attraverso il penetrametro compresa entro i limiti consentiti, allora si dovrà impiegare un penetrametro addizionale per ogni area aggiuntiva e ripetere una nuova radiografia. Quando si impiega più di un penetrametro, uno deve essere rappresentativo della zona più chiara e un altro della zona più scura nell'area di interesse. Le densità intermedie sulla radiografia dovranno essere considerate accettabili. Se necessario, si può disporre sotto il penetrametro una piastrina di spessoramento di materiale radiograficamente simile in modo che la densità radiografica attraverso l'area interessata sia non superiore al -15% (più chiara) della densità radiografica attraverso il penetrametro. Quando si usano piastrine di spessoramento. La limitazione del +30% di densità può essere superata purché la richiesta sensibilità al penetrametro sia dimostrata e non siano superate le limitazioni di densità. Le dimensioni della piastrina devono superare quelle del penetrametro in modo che in radiografia sia visibile il profilo di almeno tre lati dell'immagine del penetrametro. Per recipienti cilindrici ove la sorgente è disposta sull'asse e uno o più portafilm vengono impiegati in un'unica esposizione di una completa circonferenza, si dovrà disporre almeno tre penetrametri distanziati di 120° l'uno dall'altro. Quando vengono radiografate simultaneamente parti di saldature longitudinali incrocianti la circonferenziale si dovrà disporre un penetrametro aggiuntivo su ogni saldatura longitudinale alle estremità più lontana dall'incrocio con la circonferenziale da radiografare. Per recipienti cilindrici ove la sorgente è disposta sull'asse e quattro o più contenitori di film vengono impiegati per una singola esposizione di una parte della

circonferenza, si dovranno impiegare almeno tre penetrametri. Uno deve trovarsi circa al centro della zona esposta ed uno ad ogni estremità. Quando la parte della circonferenza esposta eccede i 240° si applicano le prescrizioni esposte precedentemente. In ogni caso possono richiedersi riferimenti addizionali per i film per stabilire la giusta spaziatura dei penetrametri, altrimenti dovrà apparire almeno un'immagine di penetrametro su ogni radiografia. Per serbatoi sferici ove la sorgente è disposta al centro del serbatoio e uno o più portafilm sono impiegati per un'unica esposizione di una circonferenza completa, si dovranno disporre almeno tre penetrametri distanziati a circa 120° l'uno dall'altro. Per ogni altra saldatura radiografata simultaneamente si dovrà disporre un penetrametro aggiuntivo. Per porzioni di serbatoi sferici ove la sorgente è disposta al centro e quattro o più portafilm sono impiegati per un'esposizione di una saldatura circonferenziale, si dovranno impiegare almeno tre penetrametri, uno disposto circa al centro della porzione esposta ed un altro a ciascuna estremità. In ogni caso possono richiedersi riferimenti addizionali per i film per stabilire la giusta spaziatura dei penetrametri altrimenti dovrà apparire almeno un'immagine di penetrametro su ogni radiografia. Come abbiamo accennato, l'indicatore di qualità di immagine viene posto generalmente sul lato del pezzo situato di fronte alle sorgenti di emissione. Esso misura la capacità della tecnica utilizzata di ottenere contrasto (lo spessore del penetrametro o del filo) e definizione (le immagini dei vari fori o fili). Va però notato che anche se si riesce a distinguere nell'indicatore un certo filo o un certo foro, dopo eseguita la radiografia, non è detto che una cavità delle stesse dimensioni, presente nel pezzo, sia visibile. I fori e i fili di un penetrametro, avendo confini definiti, causano sulla pellicola, un piccolo ma netto cambiamento nello spessore del pezzo, mentre una cavità, con i suoi contorni più o meno rotondi, causa un cambiamento graduale, non altrettanto netto. Analogamente una cricca, sottile ma estesa, se attraversata dalle radiazioni in direzione perpendicolare al piano di giacitura della stessa, causa un invisibile cambiamento di densità sulla pellicola. Pertanto, un indicatore di qualità di immagine viene usato per indicare la qualità della tecnica radiografica utilizzata e non per fornire una misura dei difetti che si possono vedere.

4.10.1 I.Q.I. piatto: L'I.Q.I. piatto (tipo ASME, API) consta di un lamierino sottile di spessore costante e di superficie relativamente grande con tre fori di diametri rispettivamente uguali a 2, 1, 4 volte lo spessore (Fig. 5.10.1). Lo spessore è scelto in relazione allo spessore da radiografare (per esempio dell'ordine dell'1,5% o 2% dello spessore) ed al valore di sensibilità che si desidera verificare (Tab. 5.11.1). Possiamo osservare che con questi I.Q.I., essendo lo spessore costante, non è possibile decidere quale sia la sensibilità della tecnica impiegata; essi permettono solo di stabilire se la radiografia è accettabile o meno ma non di determinare, come spesso è desiderabile, la sensibilità. Essi devono inoltre essere applicati di fianco al cordone, e data la grande superficie, sono facilmente identificabili anche se il contrasto è modesto; possono quindi indurre a valutazioni troppo ottimistiche. In Tab. 5.11.2 sono riportate le dimensioni caratteristiche normalizzate di questo tipo di penetrametro.

4.10.2 **I.Q.I. a gradini:** Esistono due tipi di penetrametro a gradini, quello ASME americano e quello AFNOR francese. Il primo (Fig. 5.10.2.1) consiste in una placchetta di materiale radiograficamente simile a quello in esame, nella quale sono stati ricavati un certo numero di gradini a spessore crescente. Ogni gradino ha su di esso uno o più fori circolari di diametro uguale allo spessore del gradino. Lo spessore dei gradini e o il diametro dei fori, devono appartenere ad una serie i cui valori seguono una opportuna progressione geometrica. I gradini con uno spessore minore od uguale a 0,8mm hanno un solo foro, mentre per spessori maggiori possono averne anche di più. La distanza fra il centro del foro e il lato del gradino, o tra due fori, non deve essere in alcun caso minore del diametro del foro più un millimetro. Il penetrametro AFNOR (Fig. 5.10.2.2) francese si differenzia da quello ASME solo per la forma che è esagonale o triangolare.

Esempio di I.Q.I. a gradini ASME

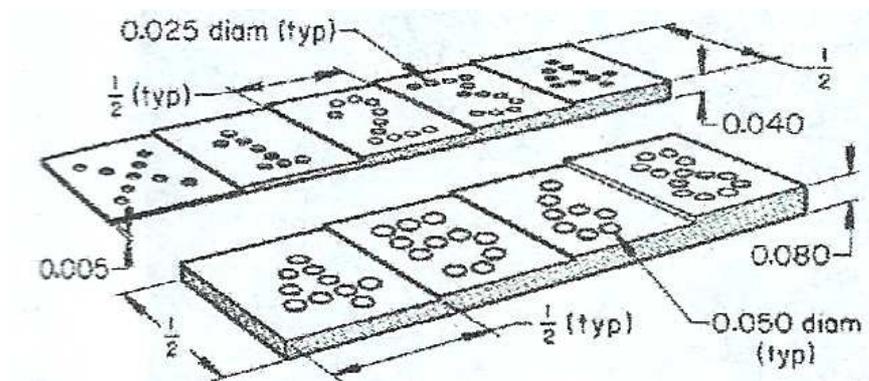


Fig 5.10.2.1

Esempio di I.Q.I. a gradini ANFOR

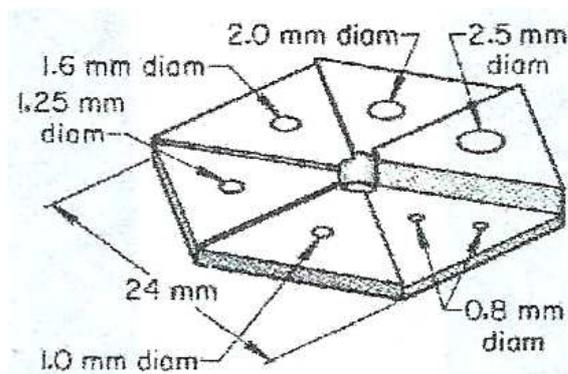


Fig 5.10.2.2

4.10.3 **I.Q.I. a fili:** il penetrametro a fili (norma DIN. ISO) consta di una serie di sette fili di diverso diametro, contenuti in una bustina di gomma o plastica (Fig. 5.10.3). Contrariamente al tipo precedente può essere applicato direttamente a cavallo del cordone di saldatura, La sensibilità viene valutata dalla quantità di fili visibili: essendone noto il diametro (Tab.5.11.3) può definirsi quindi una sensibilità percentuale riferita allo spessore della saldatura, calcolata come rapporto fra il diametro del più piccolo filo visibile attraverso l'immagine della zona fusa del giunto (che ha una certa posizione nella serie dei fili contenuti nella bustina utilizzata) e lo spessore dello stesso; si usa di solito richiedere sensibilità all'I.Q.I. dell'ordine dell'1,5 a 2 %. Esistono penetrametri a filo in acciaio (serie Fe) per il ferro e le sue leghe, in alluminio (serie Al) per l'alluminio e le sue leghe, in rame (serie Cu) per il rame, lo zinco e le sue leghe.

DIAMETRI FILI I.Q.I. DIN 54109

Fe 1/7			Fe 6/12			Fe 10/16		
N°	Diametro (mm)	Diametro (in)	N°	Diametro (mm)	Diametro (in)	N°	Diametro (mm)	Diametro (in)
1	3,2	0,13	6	1	0,040	10	0,40	0,016
2	2,5	0,10	7	0,80	0,032	11	0,32	0,013
3	2	0,08	8	0,63	0,025	12	0,25	0,010
4	1,6	0,065	9	0,50	0,020	13	0,20	0,0080
5	1,25	0,050	10	0,40	0,016	14	0,16	0,0065
6	1	0,040	11	0,32	0,013	15	0,13	0,0050
7	0,80	0,032	12	0,25	0,010	16	0,10	0,0040

Tab. 5.11.3

Esempio di I.Q.I. a fili

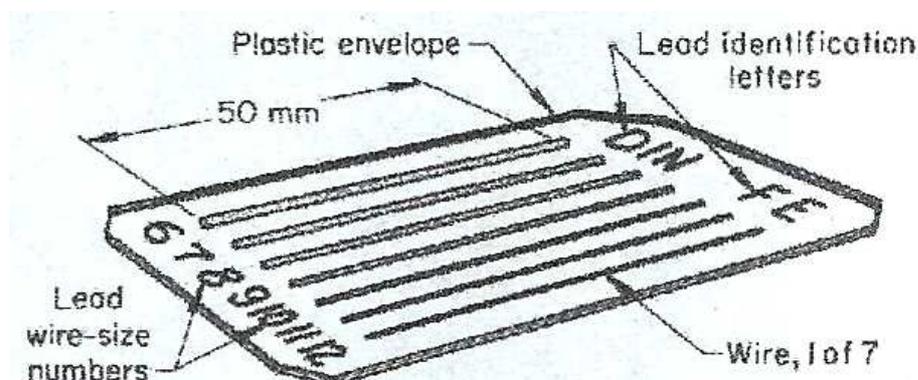


Fig 5.10.3

TABELLA T-233.1 TIPO FORO CLASSIFICAZIONE I.Q.I., SPESSORE, E DIAMETRO FORI

classificazione I.Q.I.	Spessore I.Q.I. (mm)	1 T d. foro (mm)	2 T d. foro (mm)	1 T d. foro (mm)
5	0,13	0,25	0,51	1,02
7	0,19	0,25	0,51	1,02
10	0,25	0,25	0,51	1,02
12	0,32	0,32	0,64	1,27
15	0,38	0,38	0,76	1,52
17	0,44	0,44	0,89	1,78
20	0,51	0,51	1,02	2,03
25	0,64	0,64	1,27	2,54
30	0,76	0,76	1,52	3,05
35	0,89	0,89	1,78	3,56
40	1,02	1,02	2,03	4,06
45	1,14	1,14	2,29	4,57
50	1,27	1,27	2,54	5,08
60	1,52	1,52	3,05	6,10
70	1,78	1,78	3,56	7,11
80	2,03	2,03	4,46	8,13
100	2,54	2,54	5,08	10,16
120	3,05	3,05	6,10	12,19
140	3,56	3,56	7,11	14,22
160	4,06	4,06	8,13	16,26
200	5,08	5,08	10,16	...
240	6,10	6,10	12,19	...
280	7,11	7,11	14,22	...

*Tabella 5.11***TABELLA T-233.2 DESIGNAZIONE I.Q.I. FILI, DIAMETRO FILO, E IDENTIFICAZIONE FILO**

Set A		Set B	
Diametro Filo (mm)	Identificazione Filo	Diametro Filo (mm)	Identificazione Filo
0,08	1	0,25	6
0,10	2	0,33	7
0,13	3	0,41	8
0,16	4	0,51	9
0,20	5	0,64	10
0,25	6	0,81	11
Set C		Set D	
Diametro Filo (mm)	Identificazione Filo	Diametro Filo (mm)	Identificazione Filo
0,81	11	2,54	16
1,02	12	3,20	17
1,27	13	4,06	18
1,60	14	5,08	19
2,03	15	6,35	20
2,54	16	8,13	21

Tabella 5.12

Oltre all'utilizzo dei tradizionali I.Q.I. a fili (EN 462-1 e ISO 19232-1) e a quelli a gradini (EN 462-2 e ISO 19232-2), può essere utilizzato anche l'I.Q.I. A doppio filo (EN 462-5 e ISO 19232-5) (Fig. 5.10.4). , necessari alla valutazione di perdita di definizione dell'immagine, e/o della risoluzione spaziale. Gli indicatori a doppio filo sono costituiti da una serie di 13 coppie di fili (da 1D a 13D) poste all'interno di un supporto trasparente di plastica rigida. Gli elementi da 1D a 3D sono in tungsteno mentre i restanti sono in platino; i diametri dei fili di una coppia (e le relative distanze tra i fili di una coppia) variano da 0,08 mm per 1D a 0,050 mm per 13D.

Con gli I.Q.I. a doppio filo si valuta, come già accennato, la “non nitidezza totale” dell'immagine (indicata con u'), in base al numero del primo elemento non risolto, ovvero in base alla prima coppia di fili non percepibili in modo distinto.

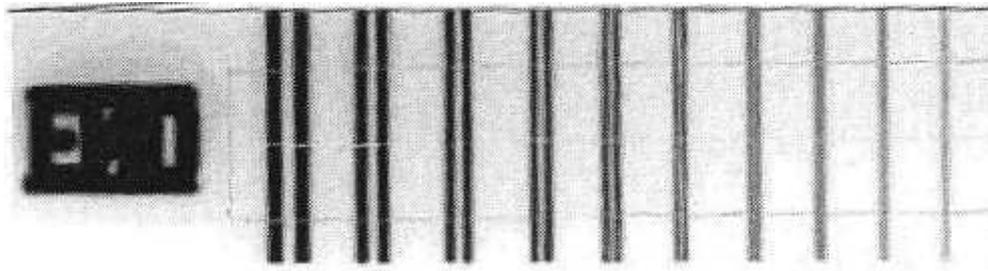


Fig. 5.10.4

Capitolo 5

Esame delle radiografie

5.1 Sistemi di Identificazione: tutte le radiografie vanno identificate per renderle rintracciabili alla commessa, al componente, alla saldatura, a seconda del caso. Le radiografie, dopo riparazione, vanno marcate con lettera. Le seguenti informazioni vanno riportate sul film in immagine disponendo apposite lettere di piombo prima dell'esposizione:

- Simbolo PRS.
- N° di commessa.
- Componente o parte.
- N° di saldatura.
- N° del saldatore (se applicabile).
- Riferimenti di posizione mediante cordella metrica oppure lettere.

In alternativa tutte le identificazioni, ad esclusione dei riferimenti di posizione, possono essere riportati sul film mediante un'esposizione "flash" di una etichetta scritta di carta. La data di esecuzione delle lastre deve essere permanentemente riportata sulle lastre tramite successiva punzonatura oppure esposizione flash. I riferimenti di posizione vanno disposti direttamente sulla parte e la loro posizione va marcata sulla superficie della parte da radiografare per consentire un accurato posizionamento delle radiografie sulla parte interessata e dimostrare completa copertura della regione da esaminare. Le marcature di posizione saranno effettuate con punzoni, vernice o vibropenna a seconda dei casi in funzione dello spessore e del materiale da radiografare. Quando viene utilizzata la cordella metrica, sarà punzonato sul pezzo il punto di inizio e il senso di rotazione se la copertura radiografica è al 100%. I riferimenti di posizione vanno disposti:

- Per esame della singola parete, sul lato sorgente eccetto quando si radiografa un componente curvo o sferico il cui lato concavo è rivolto alla sorgente e la distanza sorgente-materiale è maggiore del raggio interno.
- Per esame della doppia parete si dovrà disporre almeno un riferimento di posizione sulla superficie esterna adiacente alla saldatura per ogni esposizione.

5.2 Nitidezza dell'Immagine Radiografica: la penombra geometrica della radiografia si determina con la formula:

$$U_g = F \cdot (d / D)$$

dove:

- F = dimensione (mm) della sorgente o spot focale (massima dimensione proiettata nel piano perpendicolare alla distanza dall'oggetto).
- d = distanza (mm) dell'oggetto dal film misurata a partire dal lato sorgente.
- D = distanza (mm) dalla sorgente all'oggetto.

Quando richiesto dalla sezione applicabile del Codice ASME la penombra geometrica non dovrà superare i seguenti valori:

Spessore t (mm)	U _g
t < 50	0,51
50 ÷ 75	0,76
75 ÷ 100	1,02
t > 100	1,78

5.3 Densità Radiografica: la densità del film attraverso il penetrametro e l'area di interesse deve essere:

Esame singolo film

1,8 + 4,0 (raggi X)
Esame doppio film
2,6 + 4,0 (raggi X)
1,3 min per film

E' ammessa una tolleranza di 0,05 per le variazioni di lettura al densitometro. Per valutare la densità del film va impiegato un densitometro la cui calibrazione va verificata per confronto con un film a gradini calibrato.

5.4 Esame delle Radiografie: per esaminare le lastre ai fini dell'interpretazione saranno impiegati visori con sorgente luminosa sufficiente a render visibile il foro o il filo essenziale per la gamma di densità specificata. L'illuminazione dovrà avere intensità tale da non produrre riflessioni disturbatrici, ombre o bagliori sulla radiografia. Le condizioni di esame devono essere tali che la luce proveniente dal visore intorno alla radiografia o attraverso parti di radiografia a bassa densità non interferisca con l'interpretazione. A tali scopo possono venire utilizzate maschere per coprire tali zone di eccessiva luminosità. Si intende con il termine "indicazione" i segni che compaiono sulle radiografie, lungo i cordoni, che è necessario identificare.

5.4.1 Fasi dell'esame delle radiografie: possiamo suddividere l'operazione d'esame delle radiografie in tre fasi distinte:

- Valutazione della sensibilità radiografica.
- Analisi delle indicazioni individuate.
- Criteri di Accettabilità per L'esame Radiografico di Saldature.

5.4.1.1) Valutazione della sensibilità radiografica: la sensibilità, che può essere definita come la misura convenzionale della qualità della tecnica radiografica impiegata, ma che non fornisce alcuna indicazione sui piccoli difetti reali riscontrati, dipende da numerosi fattori la cui influenza è stata analizzata in altra parte del testo. Si può ricordare, tuttavia, che la sensibilità dipende direttamente dalla definizione e dal contrasto radiografico ottenuti, cioè in sostanza, dalla qualità d'immagine della radiografia. La qualità d'immagine radiografica, e quindi la sensibilità conseguita, viene come è noto giudicata attraverso l'osservazione sulla radiografia dell'indicatore di qualità d'immagine impiegato. Generalmente le specifiche di controllo ed i codici di buona pratica radiografica prescrivono anche dei valori minimi di densità di annerimento, Tale densità può quindi essere giudicata unitamente alla sensibilità. Se sono state conseguite la sensibilità e la densità presente, è possibile passare alla fase successiva relativa all'analisi dalle indicazioni presenti sulla radiografia.

5.4.1.2) Analisi delle indicazioni individuate sulla radiografia: le indicazioni rilevabili in radiografia appartengono principalmente a tre categorie:

- a) indicazioni dovute a locali variazioni di spessore.
- b) indicazioni di discontinuità interne al pezzo.
- c) indicazioni di varia natura non attribuibili a difetti reali o a variazioni di spessore.

a) **Indicazioni dovute a locali variazioni di spessore:** sono indicazioni normalmente inevitabili come le irregolarità di maglia dei cordoni di saldatura, punzonature di riferimento, incisioni marginali di entità anche accettabile, ecc. Per coloro che sono preposti all'interpretazione ed al giudizio di accettabilità delle radiografie è evidentemente necessaria una buona esperienza per riconoscere queste indicazioni. Talvolta, però, non è obiettivamente possibile distinguerle da indicazioni dovute a difetti interni e si deve quindi

procedere all'esame visivo delle superfici dell'oggetto radiografato per sciogliere ogni dubbio. Quando ciò non è possibile per l'inaccessibilità di una superficie dell'oggetto, si può rendere necessario intervenire con tecniche radiografiche differenti o con altri mezzi di indagine.

b) **Indicazioni di discontinuità interne al pezzo:** queste indicazioni rappresentano i difetti di saldatura veri e propri per l'individuazione dei quali si è proceduto al controllo. Esiste a questo proposito un glossario redatto dalla Commissione V[^] dell'Istituto Internazionale della Saldatura che riassume brevemente:

- a) inclusioni gassose:
 1. inclusioni gassose di forma sferica (soffiature e porosità):
 - Descrizione: cavità dovute a inclusioni di gas.
 - Aspetto radiografico: macchie scure nettamente definite ed a contorno circolare.
 2. Inclusioni gassose di forma allungata (tarli):
 - Descrizione: cavità allungate dovute a inclusioni di gas.
 - Aspetto radiografico: macchie scure nettamente definite ed a contorno arrotondato o allungato a seconda dell'orientazione dei difetti rispetto alla direzione dei raggi.
- b) Inclusioni di scoria:
 1. Inclusioni di scoria di forma e di orientazione qualsiasi:
 - Descrizione: scoria o altri materiali estranei imprigionati durante la saldatura.
 - Aspetto radiografico: macchie scure a contorno irregolare.
 2. Inclusioni di scorie allineate o in serie:
 - Descrizione: cavità allungate contenenti delle scorie o altri materiali estranei.
 - Aspetto radiografico: linee scure con interruzioni di continuità di varia entità, parallele ai bordi del giunto.
 3. Inclusioni di scorie alternate:
 - Descrizione: scorie dovute a cattiva tecnica di esecuzione dei movimenti trasversali dell'elettrodo durante la saldatura.
 - Aspetto radiografico: macchie scure con contorno irregolare disposte alternativamente su due linee parallele.
 4. Difetti di scalpellatura:
 - Descrizione: inclusioni di scoria causate dall'impiego di uno scalpello di forma non appropriata.
 - Aspetto radiografico: in genere due linee scure parallele con un contorno netto dal lato esterno al giunto e con contorno irregolare dal lato interno.
- c) Ripresa irregolare:
 - Aspetto radiografico: traccia scura isolata sulla ripresa di un giunto.
- d) Difetti di incrocio:
 - Aspetto radiografico: traccia scura all'incrocio di due saldature.

- e) Mancanza di fusione:
- Descrizione: difetto bidimensionale dovuto a mancanza di unione tra il metallo d'apporto ed il materiale-base.
 - Aspetto radiografico: sottile linea scura con bordi nettamente definiti se la direzione del fascio incidente è favorevole. La linea può tendere ad essere ondulata e diffusa, secondo l'orientamento del difetto in relazione alla direzione delle radiazioni ionizzanti, fino ad essere, nelle condizioni peggiori, praticamente non rilevabile.
- f) Mancanza di penetrazione:
- Descrizione: Mancanza di fusione alla radice o al cuore del giunto a seconda del tipo di preparazione.
 - Aspetto radiografico: linea scura definita, continua od internamente al centro del cordone.
- g) Cricche longitudinali e trasversali:
- Descrizione: difetti prodotti da rotture nel metallo.
 - Aspetto radiografico: sottili linee scure rettilinee e no.
- h) Incisioni marginali:
- Descrizione: scanalature o solchi sulla superficie del pezzo lungo il bordo del giunto.
 - Aspetto radiografico: linee scure, talvolta larghe e diffuse, lungo il bordo del giunto.
- i) Inclusioni di metalli pesanti:
- Descrizione: inclusioni di metalli estranei, provenienti dall'elettrodo o dal supporto, la cui presenza è legata al tipo particolare di procedimento di saldatura.
 - Aspetto radiografico: tracce chiare nettamente definite, con contorno circolare o irregolare.
- j) "Risucchi" di cratere e crateri di estremità.
- Descrizione : cavità (spesso piene d'ossido) o avvallamenti prodotti dalla solidificazione del metallo fuso dopo l'interruzione dell'arco.
 - Aspetto radiografico: tracce scure con contorno irregolare entro la saldatura, associate spesso con piccole cricche (anche a forma di stella) non sempre individuabili.
- k) Spruzzi di metallo fuso.
- Descrizione: parti metalliche che, a causa di una scelta non appropriata delle condizioni di saldatura, sono state espulse dall'elettrodo in fusione.
 - Aspetto radiografico: segni chiari, di varie dimensioni, distribuiti irregolarmente ai margini del cordone.

c) **Indicazioni di varia natura non attribuibili a difetti reali di saldatura o a variazioni di spessore:** queste indicazioni possono essere originate da una errata manipolazione delle pellicole, da un trattamento di sviluppo non corretto, da una essiccazione inadeguata. Elenchiamo di seguito alcune delle più frequenti indicazioni di questo tipo:

- a) Indicazioni dovute ad errata manipolazione delle pellicole.
1. Immagine nebbiosa:
 - Causa: insufficiente protezione della camera oscura, Pellicole lasciate vicino a sorgenti di radiazione.
 - Rimedio: controllare la protezione della camera oscura e l'efficacia dei filtri delle lampade, Tenere ben custodite le pellicole in scatole schermate di piombo lontane da fonti di radiazione.
 2. Punteggiatura:
 - Causa: cattive condizioni di immagazzinamento delle pellicole o permanenza eccessivamente lunga in magazzino.
 - Rimedio: tenere il materiale poco sensibile in luogo asciutto e lontano da prodotti chimici. Regolare gli ordini di materiale foto sensibile in funzione di un consumo a medio termine.
 3. "Unghiate":
 - Causa: segni scuri a forma di unghiate dovuti a piegatura della pellicola e quindi a compressione della gelatina dopo l'esposizione.
 - Rimedio: prestare attenzione durante la manipolazione delle pellicole.
 4. Aree sfumate circondate da regioni chiare:
 - Causa: pressione di oggetti pesanti sulla busta o sulla carta che avvolge la pellicola.
 - Rimedio: usare contenitori più rigidi o evitare di appoggiare oggetti sulle pellicole.
 5. Impronte digitali:
 - Causa: incauta manipolazione delle pellicole.
 - Rimedio: usare appositi guanti o tenere le pellicole per i bordi o sulle estremità.
 6. Segni scuri a "zampe di gallina":
 - Causa: sfregamento delle pellicole e successive scariche elettrostatiche sulle superfici.
 - Rimedio: togliere con cura e senza strappi le pellicole dall'imballo e dalle carte protettive.
 7. Linee bianche o punti sulla pellicola:
 - Causa: sporcizia presente sugli schermi rinforzatori.
 - Rimedio: pulizia preventiva degli schermi o loro sostituzione.
 8. Linee scure:
 - Causa: graffi o segni profondi sugli schermi rinforzatori.
 - Rimedio: sostituzione degli schermi.
- b) Indicazioni dovute ad un trattamento non corretto:
1. Aree scure.
 - Causa: spruzzi di liquido sviluppatore.

- Rimedio: maggiore attenzione durante le fasi di trattamento.
2. Aree chiare:
 - Causa: spruzzi di fissaggio o di acqua.
 - Rimedio: maggiore attenzione durante le fasi di trattamento.
 3. Nebbiosità d'immagine:
 - Causa: pellicola sviluppata (non ancora fissata) osservata con luce inadatta.
 - Rimedio: collaudare i filtri delle lampade ed usare quelli adeguati alla fase di trattamento in cui si trova la pellicola.
 4. Solarizzazione:
 - Causa: esposizione della pellicola alla luce durante lo sviluppo.
 - Rimedio: verificare la posizione degli interruttori e le eventuali fughe di luce dai filtri.
 5. Segni di corrente:
 - Causa: mancanza di agitazione delle pellicole.
 - Rimedio: agitare correttamente specialmente durante le prime fasi di sviluppo.
 6. Reticolo sull'emulsione:
 - Causa: notevoli differenze di temperature tra i bagni del trattamento.
 - Rimedio: mantenere costante ed adeguata la temperatura dei bagni.
 7. Nebbiosità dicroica:
 - Causa: contaminazione del bagno di sviluppo con quello di fissaggio. Lavaggio insufficiente. Bagno di fissaggio esaurito.
 - Rimedio: evitare che anche piccole quantità del bagno di fissaggio entrino nel bagno di sviluppo, Sciacquare bene le pellicole in acqua corrente, Impiegare un bagno di arresto.
- c) Indicazioni causate da essiccazione inadeguata (segni di asciugatura):
- Causa: essiccazione poco uniforme dell'emulsione delle pellicole, particolarmente con gocce di acqua trattenute o scivolte sulla pellicola.
 - Rimedio: impiegare un agente umidificatore nel bagno finale di lavaggio, Impiegare ganci asciutti, Impedire che le pellicole bagnate vengano in contatto con quelle asciutte.

5.4.1.3) Criteri di Accettabilità per L'esame Radiografico di Saldature:

codice ASME Sezione VIII Div.1

Saranno considerate inaccettabili e da riparare le Zone di saldatura che presentino in radiografia uno qualsiasi dei seguenti tipi di difetti.

- I. Tutti i tipi di cricca o zone di incompleta fusione o penetrazione.
- II. Inclusioni di scoria allungate aventi lunghezza maggiore di;
 - a) 6 mm per t sino a 19 mm.
 - b) 1/3 t per spessori tra 19 mm e 57 mm.

c) 19 mm per spessori sopra 57 mm.

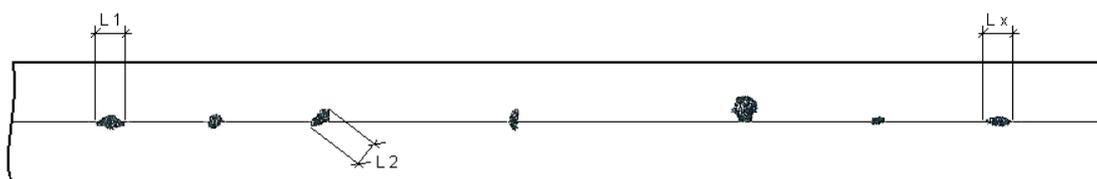
Dove: t = spessore della saldatura escludendo il sovrappessore di saldatura anche se entro i limiti di accettabilità dello stesso.

- III. Gruppi di inclusioni allineate aventi una lunghezza cumulativa maggiore di t in un tratto di 12 volte t eccetto quando la distanza tra le successive imperfezioni eccede 6L . dove L è la lunghezza dell'indicazione più ampia del gruppo.
- IV. Indicazioni tondeggianti eccedenti a quanto previsto negli standard ammessi e descritti negli Allegati da 7.1 a 7.8.

Spessore t (mm)	Massima dimensione di accettabilità (mm)		Massima dimensione non rilevanti
	Casuali	Isolati	
meno di 3	$3/4 t$	$1/4 t$	$1/10 t$
3	0,79	1,07	0,38
5	1,19	1,60	0,38
6	1,60	2,11	0,38
8	1,98	2,64	0,79
10	2,31	3,18	0,79
11	2,77	3,71	0,79
13	3,18	4,27	0,79
14	3,61	4,78	0,79
16	3,96	5,33	0,79
17	3,96	5,84	0,79
19,0 a 50 incluso	3,96	6,35	0,79
più di 50	3,96	9,53	1,60

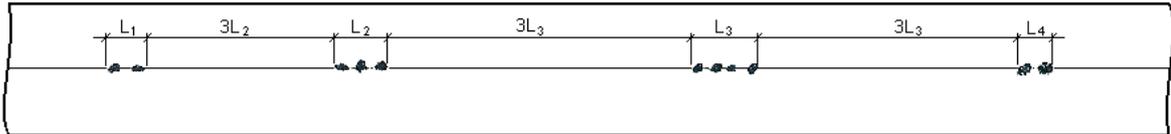
Tabella 6.4

Indicazioni arrotondate allineate



La somma di L_1 fino a L_x deve essere inferiore a t in una lunghezza di $12 \cdot t$

Gruppi di indicazioni arrotondate allineate

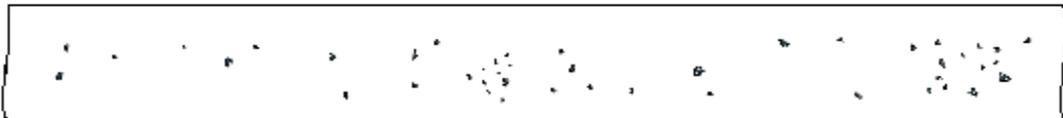


La somma della lunghezza dei gruppi deve essere inferiore a t in una lunghezza di $12 \cdot t$

Lunghezza massima gruppi	Spaziatura minima tra i gruppi
$L = 6\text{mm}$ per t inferiori a 19mm $L = \frac{1}{3} \cdot t$ per t da 19mm a 57mm $L = 19\text{mm}$ per t maggiori di 57mm	$3L$ dove L è la lunghezza adiacente al gruppo di inizio valutazione

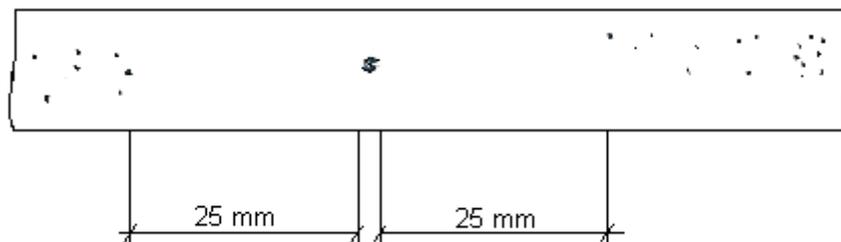
Grafico per t da 3mm a 6mm , incluso

INDICAZIONI ARROTONDATE CASUALI

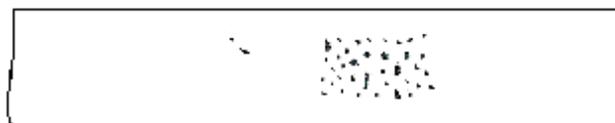


[NOTA 1)]

INDICAZIONI ISOLATE [NOTA 2)]



GRAPPOLO

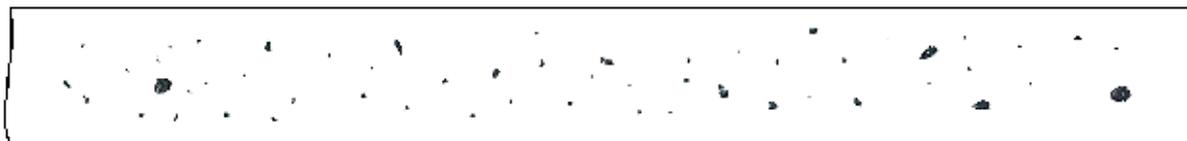


NOTE:

- 1) Tipica concentrazione e grandezza, permessa in una lunghezza di 150mm in un cordone di saldatura
- 2) Grandezza massima Tabella 6.4

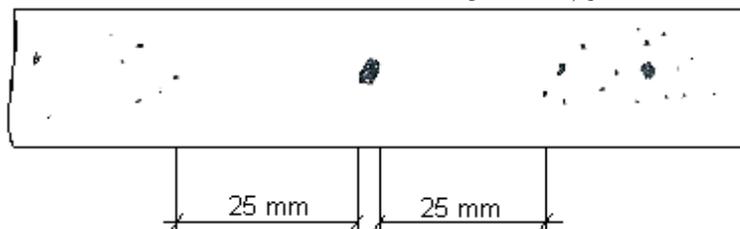
Grafico per t maggiore di 6mm a 10mm , incluso

INDICAZIONI ARROTONDATE CASUALI



[NOTA 1)]

INDICAZIONI ISOLATE [NOTA 2)]



GRAPPOLO

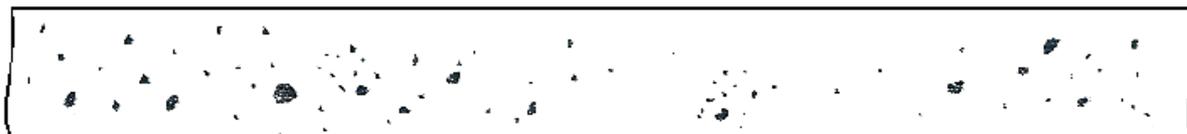


NOTE:

- 1) Tipica concentrazione e grandezza, permessa in una lunghezza di 150mm in un cordone di saldatura
- 2) Grandezza massima Tabella 6.4

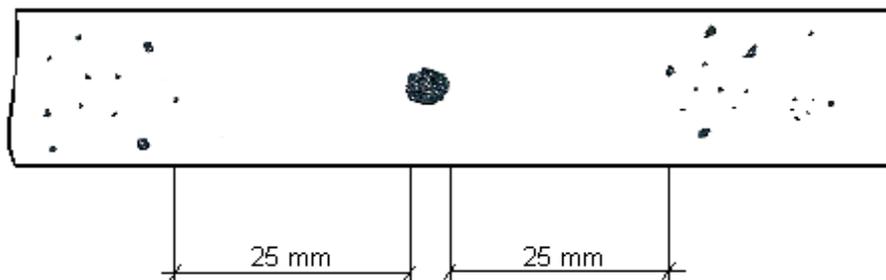
Grafico per t maggiore di 10mm a 19mm , incluso

INDICAZIONI ARROTONDATE CASUALI

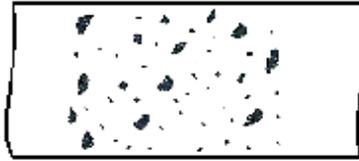


[NOTA 1)]

INDICAZIONI ISOLATE [NOTA 2)]



GRAPPOLO



NOTE:

- 1) Tipica concentrazione e grandezza, permessa in una lunghezza di 150mm in un cordone di saldatura
- 2) Grandezza massima Tabella 6.4

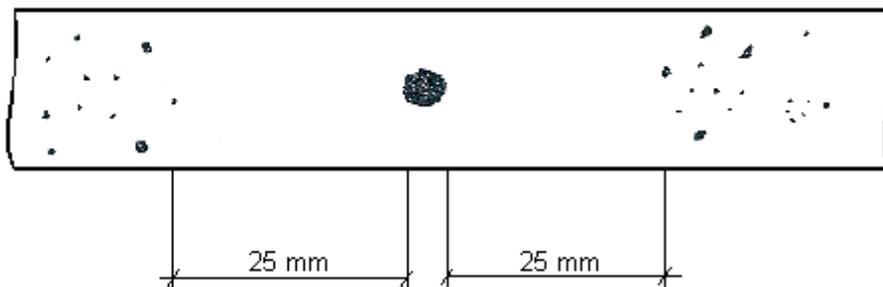
Grafico per t maggiore di 19mm a 50mm , incluso

INDICAZIONI ARROTONDATE CASUALI



[NOTA 1)]

INDICAZIONI ISOLATE [NOTA 2)]



GRAPPOLO

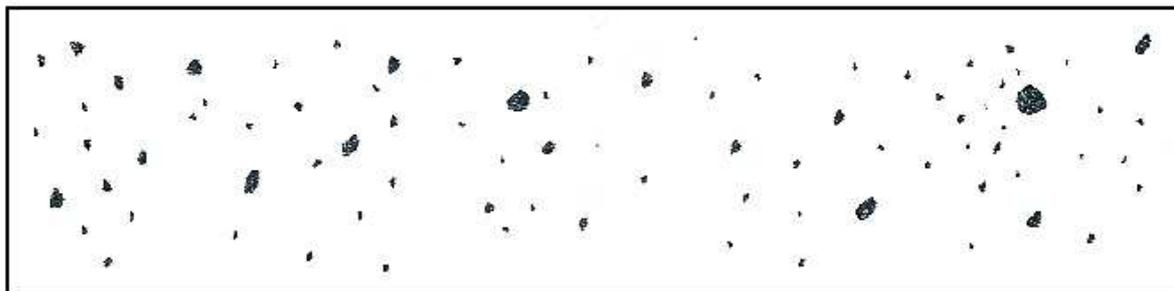


NOTE:

- 1) Tipica concentrazione e grandezza, permessa in una lunghezza di 150mm in un cordone di saldatura
- 2) Grandezza massima Tabella 6.4

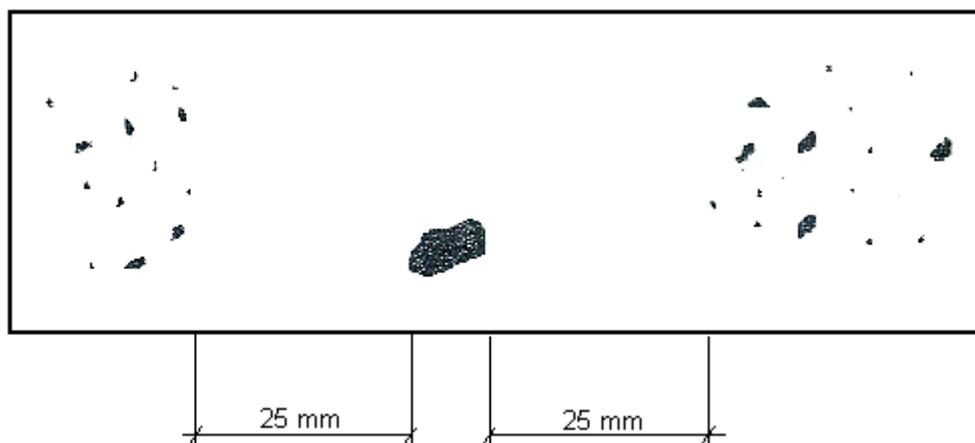
Grafico per t maggiore di 50mm a 100mm , incluso

INDICAZIONI ARROTONDATE CASUALI



[NOTA 1)]

INDICAZIONI ISOLATE [NOTA 2)]



GRAPPOLO

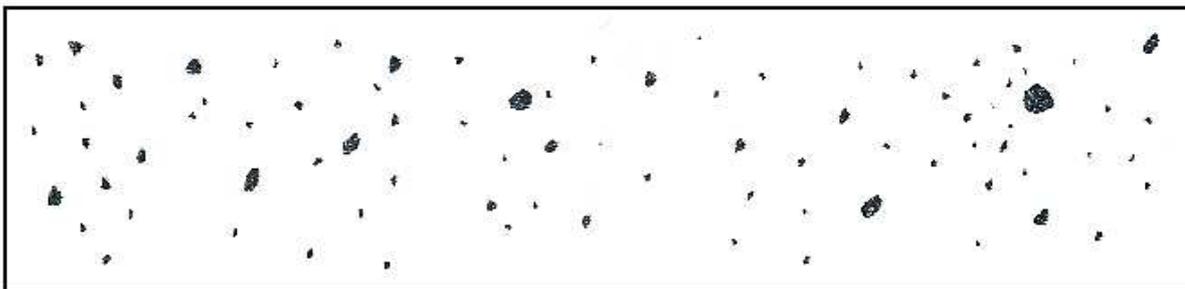


NOTE:

- 1) *Tipica concentrazione e grandezza, permessa in una lunghezza di 150mm in un cordone di saldatura*
- 2) *Grandezza massima Tabella 6.4*

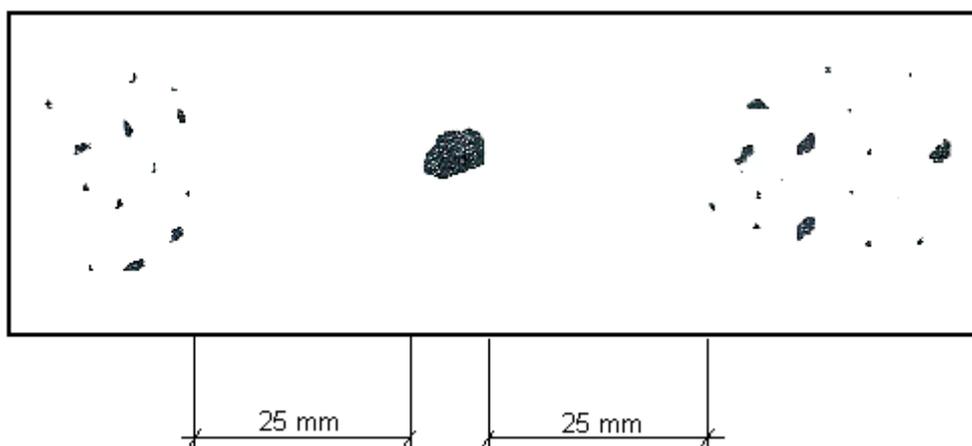
Grafico per t maggiore di 100mm

INDICAZIONI ARROTONDATE CASUALI



[NOTA 1]

INDICAZIONI ISOLATE [NOTA 2]



GRAPPOLO

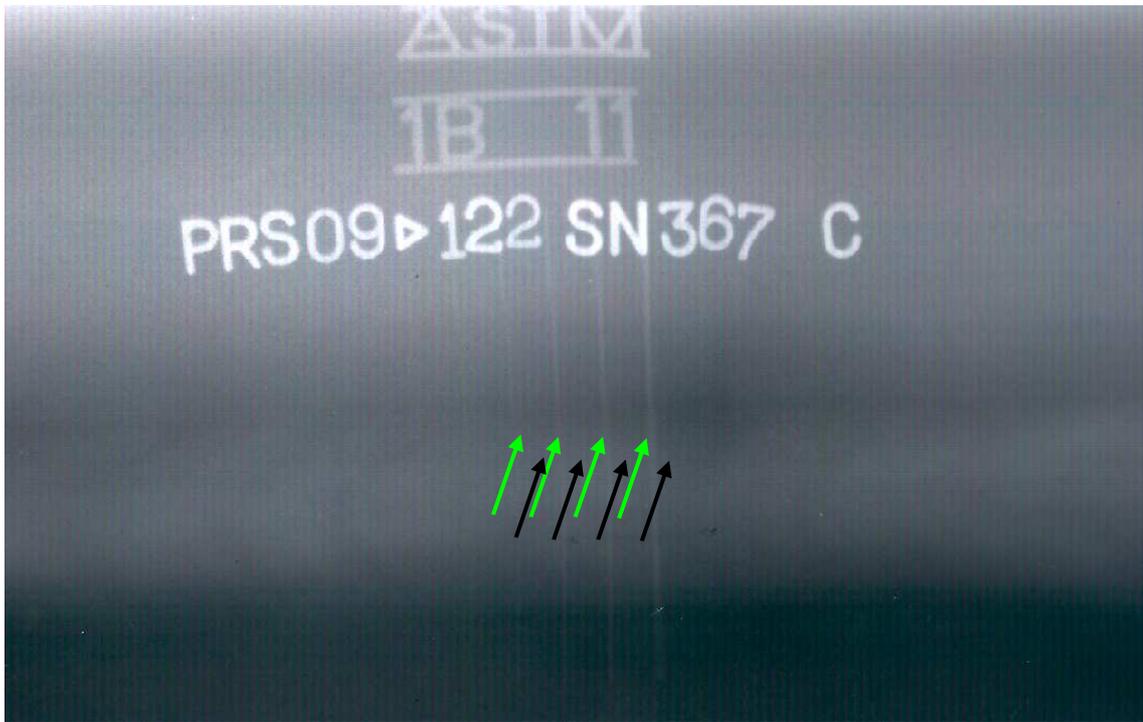


NOTE:

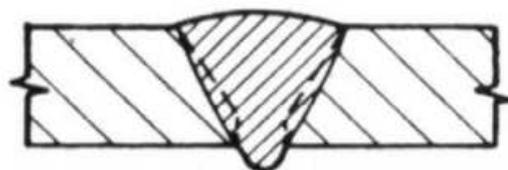
- 1) *Tipica concentrazione e grandezza, permessa in una lunghezza di 150mm in un cordone di saldatura*
- 2) *Grandezza massima Tabella 6.4*

5.5 Esempi di Indicazioni in Lastre Radiografiche:

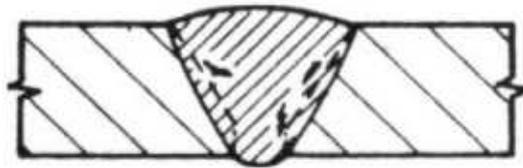
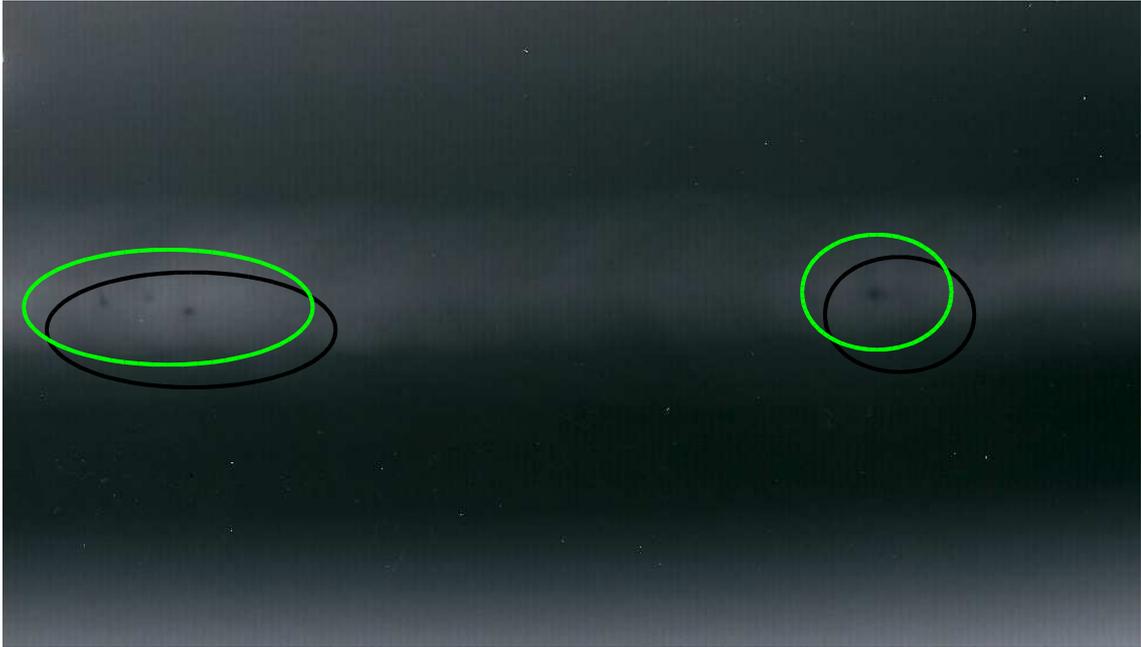
ESEMPIO DI PENETRAMETRO ASTM



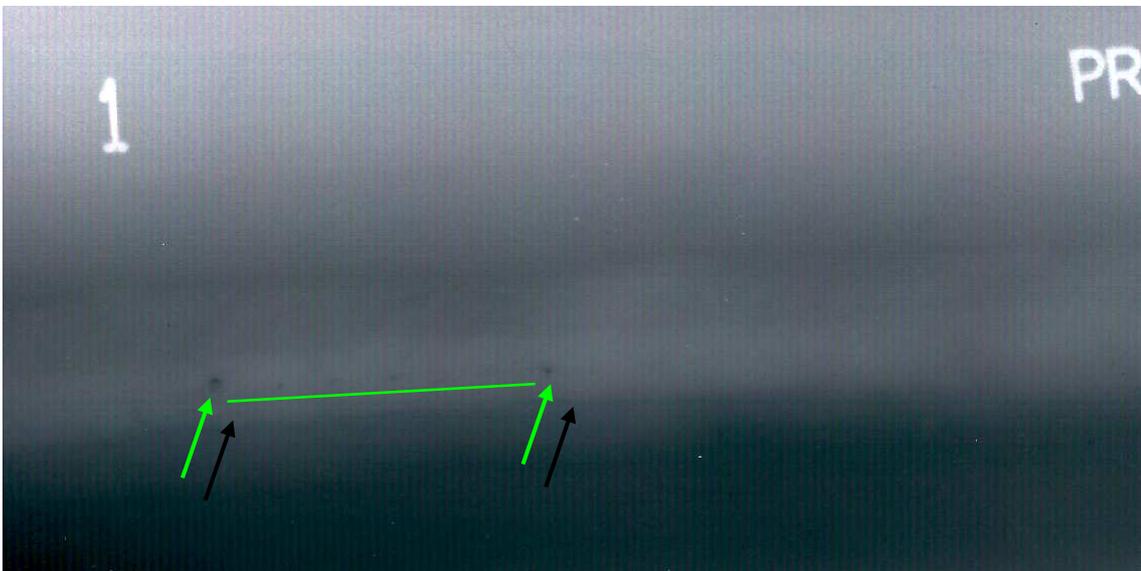
CORDONE ESENTE DA DIFETTI



INDICAZIONE DI INCLUSIONE DI SCORIA



INDICAZIONE DI MANCATA PENETRAZIONE

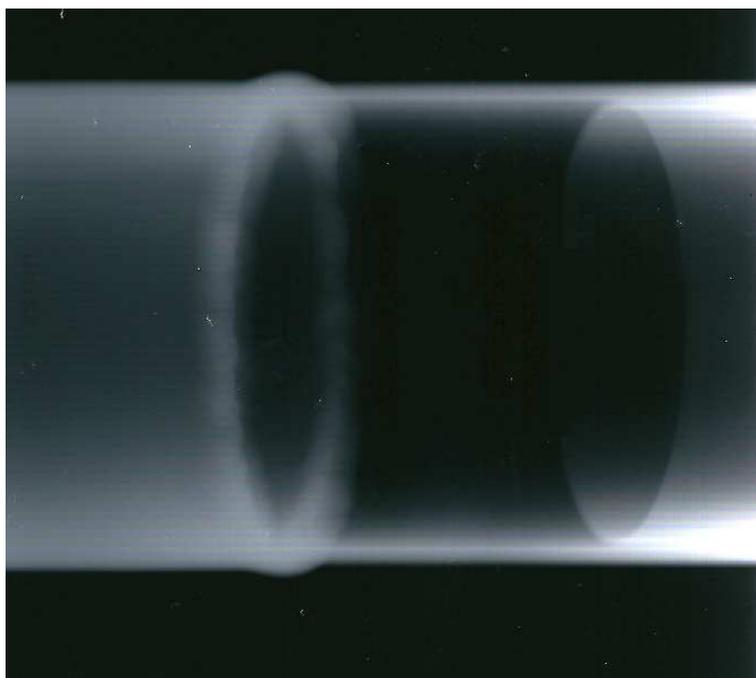


RIPRESA DI UN CORDONE DI SALDATURA



ESEMPIO DI RADIOGRAFIA A DOPPIA PARETE

(eseguita su un tubo di piccolo diametro, non in grado di ospitare la sorgente o macchina al suo interno)



5.6 Documentazione: Il certificato di controllo radiografico dovrà riportare come minimo tutte le informazioni richieste nell'articolo 2 paragrafo T291 della sezione V codice ASME. In più devono essere fornite le seguenti informazioni:

- Numero di identificazione, per esempio, numero di commessa
- La mappatura del posizionamento delle mappature
- Numero di esposizioni radiografiche (numero di pellicole usate per radiografare una saldatura di una data lunghezza).

BIBLIOGRAFIA e APPROFONDIMENTI:

- 1) Tecnologie di giunzione mediante saldatura - volume 1- procedimenti autogeni ed eterogeni.
- 2) Diagnostica strutturale.
- 3) Istituto italiano delle saldature – controllo radiografico dei giunti saldati.
- 4) Relazione di calcolo - serbatoi a copertura di terra da 3000 m^3 per stoccaggio BDE.
- 5) Quaderno delle saldature - serbatoi a copertura di terra da 3000 m^3 per stoccaggio BDE.
- 6) Procedura per l'esame radiografico per serbatoi di stoccaggio in accordo al codice api std 650.