

Indice

PREMESSA	1
INDICE.....	3
INDICE DELLE FIGURE	9
INDICE DELLE TABELLE	14
1 SALDATURE	17
1.1 Classificazione dei processi di saldatura	17
1.1.1 Saldature Autogene	18
1.1.2 Saldature Eterogene	18
1.2 Classificazione delle Tecnologie di Saldatura.....	18
1.3 Storia della saldatura	20
2 DEFINIZIONI	23
3 SALDATURA MMA AD ELETTRODO RIVESTITO.....	27
3.1 Collegamento in polarità diretta	30
3.2 Collegamento in polarità inversa.....	31
3.3 Saldatura Hot Start	32
3.4 Saldatura Arc Force.....	32
3.5 Saldatura Anti Stick.....	32
3.6 Duty Cicle, DC	33
3.7 Caratteristiche degli elettrodi rivestiti	33
3.8 Tipi di elettrodi.....	34
3.8.1 Elettrodi con rivestimento acido	34
3.8.2 Elettrodi con rivestimento al rutilo	34
3.8.3 Elettrodi con rivestimento cellulosico.....	34
3.8.4 Elettrodi con rivestimento basico.....	34
3.9 Diametro dell'elettrodo e intensità di corrente in funzione dello spessore da saldare	38
4 SALDATURA TIG	42
4.1 Generatore di corrente per le saldature TIG.....	43
4.1.1 Generatore in corrente alternata AC	43
4.1.2 Generatore in corrente continua DC	43
4.1.2.1 Corrente Continua con collegamento in polarità diretta.....	44
4.1.2.2 Corrente Continua con collegamento in polarità inversa	44
4.1.2.3 Corrente Continua modulata o pulsata.....	44
4.2 Torcia.....	45
4.3 Gas di protezione.....	47
4.4 Gli elettrodi infusibili	48
4.5 Sistemi di accensione dell'arco	52

4.5.1	Innesco HF (Hight Frequency)	52
4.5.2	Innesco ad arco pilota	52
4.5.3	Innesco Lift	52
4.5.4	Innesco Scratch	52
4.6	Avanzamento della bacchetta durante la saldatura TIG	55
4.7	Saldatura TIG dell'acciaio inox	57
4.7.1	Gli acciai inossidabili: cenni storici	57
4.7.2	Definizione	57
4.7.3	Classificazione	58
4.7.3.1	Acciai Martensitici	58
4.7.3.1.1	Criterio di scelta dell'Acciaio Martensitico	60
4.7.3.2	Acciai Ferritici	60
4.7.3.2.1	Criterio di scelta dell'Acciaio Ferritico	61
4.7.3.3	Acciai Austenitici	62
4.7.3.3.1	Criteri di scelta dell'Acciaio Austenitico	64
4.7.3.4	Acciai austeno-ferritici, Duplex	65
4.7.3.4.1	Introduzione e cenni storici	65
4.7.3.4.2	Generalità	66
4.7.4	Errori da non fare durante la saldatura sull'acciaio inox	71
4.7.5	Il fenomeno del Pitting	71
4.7.5.1	Introduzione	71
4.7.5.2	Il meccanismo	73
4.7.5.3	L'innesco	73
4.7.5.4	L'avanzamento	74
4.7.6	Riduzione del problema del Pitting o dell'ossidazione superficiale su cordoni in acciaio inox	77
4.7.6.1	Decapaggio	78
4.7.6.2	Passivazione	81
4.7.6.3	Scelta del metodo	82
4.7.7	Tipo di corrente e diametro dell'elettrodo per un procedimento di saldatura TIG sull'acciaio inox	83
4.8	Determinazione dell'efficienza totale di una saldatura TIG	84
5	SALDATURA A FILO CONTINUO: MIG E MAG	87
5.1	Generatore di corrente	87
5.1.1	Generatore in corrente continua DC	87
5.1.2	Generatori in corrente pulsata	87
5.2	Torcia MIG/MAG	88
5.3	Trainafilo	89
5.4	Gas inerte impiegato nella MIG/MAG	90
5.4.1	Argon (Ar)	92
5.4.2	L'Elio (He)	92

5.4.3	L'Anidride Carbonica (CO ₂)	92
5.4.4	Miscele attive	92
5.5	Filo di saldatura per MIG/MAG.....	92
5.5.1	Filo pieno	92
5.5.2	Filo animato (Flux)	92
5.6	Modalità di trasferimento del metallo d'apporto.....	93
5.6.1	Trasferimento ad immersione: short-arc, dip-transfer o corto-circuito.....	93
5.6.2	Trasferimento a spruzzo: spray-arc.....	94
5.6.3	Trasferimento a impulsi: pulse-arc	94
5.6.4	Trasferimento globulare: globular-arc	95
5.7	Saldatura dei materiali in MIG o MAG.....	96
5.7.1	Acciai dolci al Carbonio (0,15÷0,25% di C)	96
5.7.2	Acciai inossidabili.....	96
5.7.3	Leghe di alluminio	96
5.7.4	Altri materiali metallici	97
6	SALDATURA AD ARCO SOMMERSO (SAW).....	100
6.1	Apparecchiatura.....	101
6.1.1	Filo	101
6.1.2	Macchinari	103
6.1.3	Flussi	103
6.1.4	Generatore di corrente, aspo portafilo e tramoggia del flusso	105
6.2	Difetti tipici	106
7	DIFETTI DI SALDATURA.....	107
7.1	Pericolosità dei difetti di saldatura e criteri di accettabilità	111
7.2	Saldabilità dei principali materiali metallici	111
7.2.1	Saldabilità degli acciai al carbonio	111
7.2.2	Acciai dolci	112
7.2.3	Acciai debolmente legati al Manganese (Mn %=1,0÷1,5).....	112
8	LE IMPERFEZIONI DI SALDATURA SECONDO LA UNI EN 6520-1.....	113
8.1	Cricche.....	113
8.2	Cavità.....	113
8.3	Inclusioni solide	114
8.4	Mancanza di fusione e di penetrazione	114
8.5	Difetti di forma e dimensione.....	114
9	METALLURGIA DELLE SALDATURE AD ARCO ELETTRICO.....	116
9.1	Cicli termici.....	116
9.2	Le cricche	118

9.2.1	Cricche a caldo in zona fusa	118
9.2.2	Cricche a freddo in zona fusa.....	120
9.2.3	Cricche a caldo in ZTA	122
9.2.4	Cricche a freddo in ZTA	122
9.2.5	Strappi lamellari.....	123
9.3	Analisi formulazione empirica di predizione della durezza [25]	124
9.3.1	Microstruttura di un giunto saldato	124
9.3.2	Diagramma di fase	124
9.3.3	Curve CCT (trasformazione a raffreddamento continuo) e TTT (curve di trasformazione isoterma).....	130
9.3.4	Effetti di tempra	131
9.3.5	Apporto termico	134
9.3.6	Tempo di raffreddamento $t_{8/5}$	135
9.3.6.1	Premessa	135
9.3.6.2	Calcolo del Tempo di Raffreddamento.....	135
9.3.7	Formulazioni empiriche per la predizione della durezza	136
9.3.7.1	Premessa	136
9.3.7.2	Modello Suzuki.....	137
9.3.7.3	Modello di durezza di Arata (α formulazione).....	138
9.3.7.4	Primo modello di Terasaki.....	140
9.3.7.5	Secondo modello di Terasaki.....	141
9.3.7.6	Primo modello di Yurioka: acciai basso legati.....	141
9.3.7.7	Secondo modello di Yurioka: acciai alto legati	142
10	ESAME VISIVO DI UN CORDONE DI SALDATURA: LIQUIDO PENETRANTE	144
10.1	Pulizia preliminare del cordone	144
10.2	Applicazione del penetrante	145
10.3	Rimozione del penetrante	145
10.3.1	Penetranti lavabili con acqua	146
10.3.2	Penetranti rimovibili con solvente	146
10.3.3	Penetranti rimovibili con emulsificatore.....	147
10.4	Asciugatura della superficie	147
10.5	Applicazione dello sviluppatore bianco.....	147
10.5.1	Sviluppatore a rapida evaporazione (esempio: Elite D112A).....	147
10.5.2	Sviluppatore ad umido acquoso (esempio: Elite DWS2 o Elite SD1).....	148
10.5.3	Sviluppatore a secco (esempio: Elite DP9).....	148
10.6	Ispezione visiva	148
11	TIPI DI GIUNTI DI SALDATURA.....	154
11.1	Rappresentazione di una saldatura secondo la normativa UNI EN 22553:94, [1] [33]	156

11.1.1	UNI EN ISO 4063:2011 Saldatura e tecniche affini – Nomenclatura e codificazione numerica dei processi.....	162
11.2	Quotatura di una saldatura.....	164
11.3	Preparazione dei lembi per giunti a completa penetrazione secondo la UNI EN ISO 9692-1:2013	169
12	GUIDA AL CAPITOLATO TECNICO PER LE STRUTTURE METALLICHE: UNIONI SALDATE.....	172
12.1	Premessa.....	172
12.2	Classi di esecuzione delle strutture.....	172
12.3	Saldatura.....	176
12.3.1	Generalità.....	176
12.3.1.1	Commenti in merito alla UNI EN ISO 3834, UNI EN 1090-2 e le Classi di Esecuzione.....	178
12.3.2	Qualifica dei saldatori.....	178
12.3.3	Preparazione dei lembi.....	178
12.3.4	Materiale di consumo.....	180
12.3.5	Controlli non distruttivi, NDT.....	180
12.3.6	Criteri di accettabilità delle saldature.....	182
12.3.7	UNI EN ISO 15614.....	182
12.3.7.1	UNI EN ISO 15614-1:2017, scopo e campo di applicazione.....	182
12.3.8	PWPS – WPQR – WPS, cosa sono?.....	183
12.3.8.1	WPS, Specifica di Procedura di Saldatura.....	183
12.3.9	Posizioni di saldatura.....	184
13	RESISTENZA DELL'UNIONE SALDATA IN REGIME STATICO	188
13.1	Scelta del materiale base.....	188
13.2	Il D.M. del 09/01/96.....	188
13.2.1	Unioni testa a testa o a T a completa penetrazione.....	189
13.2.2	Unioni saldate con cordoni d'angolo.....	189
13.3	l'EC3, Eurocodice 3.....	190
13.4	Definizione del dominio di resistenza, storia.....	196
13.4.1	Definizione sperimentale del Peroide delle Rotture.....	196
13.4.1.1	1^ approssimazione secondo ISO: Elissoide delle Rotture.....	196
13.4.1.2	2^ approssimazione secondo ISO: Sfera delle rotture.....	198
13.4.1.3	3^ approssimazione secondo CNR: Sfera Mozza.....	199
13.5	Sollecitazione di Trazione (Sforzo Normale).....	200
13.5.1	Cordoni laterali.....	200
13.5.2	Cordoni frontali.....	201
13.5.2.1	Dimostrazione della equazione (13.15).....	201
13.5.3	Cordoni inclinati.....	205
13.5.4	Combinazione di cordoni laterali e frontali.....	205

13.6	Sollecitazione di Flessione e Taglio	206
13.6.1	Cordoni frontali trasversali	207
13.6.2	Combinazioni di cordoni frontali, longitudinali e trasversali	207
13.7	Sollecitazione di Torsione, Flessione e Taglio	208
13.7.1	Torsione	208
13.7.2	Cordoni laterali	210
13.7.3	Cordoni frontali.....	210
13.7.4	Due cordoni laterali e due frontali	211
13.7.5	Due cordoni laterali e uno frontale	211
13.7.6	Sezioni a cassone	212
13.8	Esempi svolti di calcolo e verifica di giunti saldati secondo le NTC 2018 e le EC3	215
14	CALCOLO DEI GIUNTI SALDATI SOLLECITATI A FATICA, CENNI.	218
14.1	Eziologia del fenomeno della fatica in un giunto	218
14.2	Lo stato tensionale in prossimità dei cordoni di saldatura.....	220
14.3	Previsione della vita a fatica di giunzioni saldate.....	221
14.3.1	Il metodo delle tensioni nominali.....	221
14.3.2	Il metodo del gradiente implicito	222
15	APPENDICE: ELENCO NORMATIVE SULLE SALDATURE	223
	INDICE ANALITICO	235
	BIBLIOGRAFIA	239