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