

INDICE GENERALE

SIGLE ED ABBREVIAZIONI IN ORDINE PROGRESSIVO	10
UNITA' DI MISURA	11
1. PRINCIPI DELLA PROVA CON ULTRASUONI	12
1.1. Principio del metodo	12
1.2. Scopo e limitazioni del metodo mediante ultrasuoni	12
2. BASI FISICHE DEL METODO	13
2.1 Onde ultrasonore e loro forme elementari	13
2.1.1 Tipi di onde ultrasonore	16
2.1.2 Onde continue	16
2.1.3 Onde a impulsi	16
2.1.4 Onde longitudinali	16
2.1.5 Onde trasversali	17
2.1.6 Onde superficiali	17
2.1.7 Onde di Lamb	18
2.1.8 Onde di dispersione superficiale o di strisciamento (creeping wave)	19
2.1.9 Grandezze fisiche delle onde ultrasonore	20
2.1.10 Frequenza	20
2.1.11 Velocità di propagazione	22
2.1.12 Lunghezza d'onda	24
2.1.13 Pressione acustica	25
2.1.14 Impedenza acustica	28
2.1.15 Intensità acustica	29
2.1.16 Coefficienti di trasmissione e di riflessione	30
2.1.17 Frequenza di ripetizione degli impulsi (Pulse Repetition Frequency PRF)	30
2.1.18 Misura in decibel (dB)	29
2.2 Propagazione degli ultrasuoni.	30
2.2.1 Generazione del fascio ultrasonoro	30

2.2.2	Geometria del fascio ultrasonoro.	31
2.2.3	Rifrazione e conversione di modo	36
2.2.4	Diffusione	40
2.2.5	Assorbimento	43
2.2.6	Attenuazione	43
2.2.7	Diffrazione	44
2.2.8	Riflessione e rifrazione delle onde ultrasonore incidenti non perpendicolarmente	44
2.2.9	Riflessioni in un tondo	45
2.2.10	Riflessione da un foro cilindrico all'interno di un manufatto a sezione quadrata	46
2.2.11	Riflessione da un grande riflettore	46
2.2.12	Riflessione da un piccolo riflettore	47
2.2.13	Accoppiamento su una superficie rugosa Rilevabilità di una discontinuità	48
2.2.14	Rilevabilità di una discontinuità	48
2.2.15	Influenza del mezzo d'accoppiamento	48
2.2.16	Mezzi d'accoppiamento speciali	50
3.	APPARECCHIATURE	50
3.1.	Composizione dell'apparecchiatura	50
3.2.	Sonde	51
3.3.	Effetto piezoelettrico	51
3.4.	Trasduttori elettrostrittivi	52
3.5.	Eccitazione dei trasduttori	52
3.6.	Segnale e spettro di frequenza di un trasduttore	53
3.7.	Spessore dell'elemento trasduttore	53
3.8.	Cristalli speciali	54
3.9.	Sonde a fascio diritto	54
3.10.	Sonde a fascio angolato	56
3.11.	Sonda doppia a emettitore e ricevitore separati	58
3.12.	Sonde a fascio diritto con linea di ritardo	60

3.13.	Sonde per alte temperature	61
3.14.	Sonde per immersione	61
3.15.	Sonde a ruota	62
3.16.	Sonde a spruzzo (Squirter)	63
3.17.	Sonda per saldature a punti	64
3.18.	Caratteristiche delle sonde	65
4.	APPARECCHI A ULTRASUONI	65
4.1.	Generale	65
4.1.1.	Apparecchi a eco impulso analogici	66
4.1.2.	Apparecchi a eco impulso digitali	66
4.1.3.	Eccitazione del trasduttore	67
4.1.4.	Presentazione dello schermo	67
4.1.5.	Caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura	69
4.1.6.	Attenuatore dell'eco di fondo	76
4.1.7	Dispositivi di misura del tempo di volo (misuratori di spessore)	77
5.	BLOCCHI DI TARATURA	79
5.1.	Blocchi per la regolazione del campo di misura	79
5.2.	Blocco per la verifica dell'apparecchiatura	80
5.3.	Blocco I.I.W. Per la verifica delle sonde angolate	80
5.4.	Blocchi per la regolazione dei misuratori di spessore	81
5.5.	Regolazioni con il blocco N. 1	82
5.6.	Regolazione del campo di misura con sonda normale	83
5.7.	Regolazione del campo di misura con sonda doppia	85
5.8.	Regolazione del campo di misura con sonda angolata sul blocco N. 1	86
5.9.	Regolazione del campo di misura con sonda angolata sul blocco N. 2	87
5.10.	Verifica del punto d'uscita del fascio ultrasonoro e dell'angolo rifranto della sonda nell'acciaio sul blocco N. 1	89
5.11.	Verifica del punto d'uscita del fascio ultrasonoro e dell'angolo rifranto della sonda nell'acciaio sul blocco N. 2	91

5.12.	Regolazione del campo di misura sullo spessore 200 mm	91
5.13.	Verifica del potere risolutore con sonda a fascio diritto	92
5.14.	Regolazione del campo di misura con sonda a onde longitudinali con linea di ritardo per incidere con angoli inferiori a 35°	92
5.15.	Regolazione del campo di misura a 100 mm con sonda angolata sul blocco N. 1	93
5.16.	Regolazione del campo di misura con sonda a fascio diritto con linea di ritardo	94
5.17.	Capacità di penetrazione di un trasduttore verificato sul cilindro di plexiglass del blocco N. 1	94
5.18.	Verifica della linearità della base dei tempi	95
5.19.	Verifica della linearità dell'amplificazione	96
5.20.	Verifiche della durata dell'impulso	97
5.21.	Verifica del rapporto segnale rumore di fondo e sensibilità	98
5.22.	Stato fisico e aspetto esterno	99
5.23.	Regolazione del campo di misura con sonda miniaturizzata con linea di ritardo	100
5.24.	Regolazione del campo di misura con sonda e blocco incollato da 50 mm di spessore	101
5.25.	Verifica del potere risolutore delle sonde angolate sul blocco IIW	101
6.	BLOCCHI DI RIFERIMENTO	103
6.1.	Premessa	103
6.2.	Definizione di grande riflettore	103
6.3.	Piccolo riflettore	105
6.4.	Blocchi di riferimento per le curve DAC	105
6.5.	Costruzione delle curve DAC con sonde a fascio diritto	107
6.6.	Correzioni di trasferimento con sonda diritta	107
6.7.	Costruzione delle curve DAC con sonde a fascio angolato su blocco con foro singolo	108
6.8.	Costruzione delle curve DAC con sonde a fascio angolato su blocco con 3 fori	109
6.9.	Costruzione delle curve DAC con sonde a fascio angolato su blocco con intaglio	111
6.10.	Correzioni di trasferimento con sonde angolate	111
6.11.	Scale o diagrammi AVG (o DGS)	112
6.12.	Scale AVG per le sonde a fascio diritto generate sull'apparecchio a ultrasuoni	117

6.13.	Scale AVG per le sonde a fascio angolato generate sull'apparecchio a ultrasuoni	118
7.	TECNICHE DI CONTROLLO	119
7.1.	Tecnica per trasmissione	119
7.2.	Tecnica tandem	120
7.3.	Tecnica per immersione	122
7.4.	Tecnica di controllo per echi multipli	123
7.5.	Tecnica PHASED ARRAY	124
7.6.	Tecnica TOFD	127
8.	IMPIANTI AUTOMATICI	131
8.1.	Generale	131
8.2.	Impianti in vasche per immersione	131
8.3.	Impianti con sonda a spruzzo d'acqua (con squirter)	131
8.4.	Impianto automatico con sonde in pattini a colonna d'acqua	133
8.5.	Impianto con parziale immersione del pezzo con gabbia rotante	133
8.6.	Impianti automatici con sonde a contatto	134
9.	APPLICAZIONI	135
9.1.	Misura della velocità con gli ultrasuoni	135
9.1.1.	Misura della velocità per la classificazione delle ghise	135
9.1.2.	Misura della velocità nei materiali compositi (fibre di carbonio e vetroresina)	136
9.1.3.	Misura della velocità nei materiali ceramici e vetro	138
9.1.4.	Misura della velocità nei materiali refrattari e calcestruzzo precompresso	138
9.1.5.	Calcolo del modulo elastico	138
9.2.	Misure di spessore	138
9.2.1.	Generale	139
9.2.2.	Fattori, che influenzano la precisione delle misure	140
9.2.3.	Preparazione e addestramento del personale	140
9.2.4.	Misure di spessori su manufatti finiti	140
9.2.4.1.	Misure di spessore su lamiere di acciaio, alluminio	142

9.2.4.2. Misure di spessore su lamierini e nastri	143
9.2.4.3. Misure di spessore su tubi	143
9.2.4.4. Misure di spessore di fusioni, stampati, forgiati, acciaio, ghisa, alluminio	144
9.2.4.5. Misure di spessore sulle palette di turbine	144
9.2.5. Misura dello spessore residuo su particolari eserciti	145
9.3. Controllo con ultrasuoni delle lamiere	145
9.3.1. Generale	145
9.3.2. Tipi di sonde	145
9.3.3. Esecuzione della prova secondo EN 10160	146
9.3.3.1. Regolazione dell'apparecchiatura	146
9.3.3.2. Schema di scansione	147
9.3.3.3. Livelli d'accettabilità	147
9.3.3.4. Referto di prova	149
9.3.4. Controllo delle lamiere secondo codice ASME V articolo 23	150
9.3.4.1. Procedimento di scansione	150
9.3.4.2. Livelli d'accettabilità	151
9.3.5. Qualificazione del personale	152
9.4. Controllo delle fusioni	152
9.4.1. Generale	152
9.4.2. Difetti più frequenti nelle fusioni	153
9.4.3. Apparecchiature	154
9.4.4. Regolazione dell'apparecchiatura	156
9.4.5. Esecuzione della prova	156
9.4.6. Controllo con ultrasuoni di fusioni con sonde a fascio angolato	163
9.4.7. Controllo con ultrasuoni di fusioni o pressofusioni in leghe d'alluminio	166
9.4.8. Controllo con ultrasuoni di fusioni in acciaio austenitico	167
9.4.9. Norma UNI EN 12680-3: controllo mediante ultrasuoni- Parte 3 – Getti di ghisa a grafite sferoidale	168

9.5.	Controllo con ultrasuoni di stampati	178
9.6.	Controllo dei forgiati in acciaio	181
9.6.1.	Problematiche di controllo	181
9.6.2.	Esecuzione delle prove	185
9.6.3.	Difetti riscontrati con ultrasuoni	192
9.6.4.	Controllo dei forgiati in acciaio austenitico	195
9.6.5.	Controllo di barre quadrate e tonde di acciaio ed alluminio	195
9.6.6.	Norma UNI EN 10228-3: 2000 – Prove non distruttive dei fucinati in acciaio – Controllo con ultrasuoni dei fucinati d'acciaio ferritico o martensitico	197
9.7.	Controllo delle saldature	211
9.7.1.	Generale	211
9.7.2.	Controllo delle saldature a V	212
9.7.3.	Controllo delle saldature a bicchiere	219
9.7.4.	Controllo delle saldature a X asimmetriche e simmetriche	220
9.7.5.	Controllo delle saldature a K	224
9.7.6.	Controllo delle saldature a cianfrino stretto	225
9.7.7.	Controllo di giunti saldati ad L	229
9.7.8.	Controllo dei giunti saldati a T	231
9.7.9.	Varie tipologie di giunti saldati	235
9.7.10.	Giunti di bocchelli	237
9.7.11.	Giunti di tubi di piattaforme petrolifere	237
9.7.12.	Rilevazione delle cricche trasversali al cordone di saldatura	238
9.7.13.	Controlli preliminari	240
9.7.14.	Controllo delle saldature laser	241
9.7.15.	Controllo delle saldature a punti	243
9.7.16.	Saldobrasature	247
9.7.17.	Saldature per frizione	248
9.7.18.	Normative saldature: UNI EN ISO 17640	251

9.7.19. Normative saldature: UNI EN ISO 11666	262
9.7.20. Normative saldature: UNI EN ISO 23279	267
9.8. Controllo dei tubi	278
9.9. Controllo dei materiali compositi	279
9.9.1. Generale	279
9.9.2. Pannelli in vetroresina e loro incollaggi	279
9.9.3. Fibre di carbonio e loro incollaggi	281
9.10. Controlli di particolari eserciti	282
9.10.1. Generale	282
9.10.2. Controllo di assili e rulli	282
9.10.3. Controllo di tiranti e prigionieri	285
10. Questionario	287
11. Bibliografia	303
ELENCO NORMATIVE ULTRASUONI	304
TERMINOLOGIA	307
VOCABOLARIO	307