

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in
Ingegneria Meccanica



**ACCOPPIAMENTI A SCATTO (SNAP-FIT) METALLICI PER
APPLICAZIONI STRUTTURALI**

Relatore: Prof. Mario GUAGLIANO

Co-relatore: Ing. Alessandro PERRONE

Tesi di Laurea di:

Lorenzo ROSSI
Matr.781100

Anno Accademico 2012- 2013.

Puoi chiedere all'universo tutti i segni che vuoi, ma alla fine vedi solo quello che vuoi vedere, quando sei pronto a vederlo.

Ted Mosby

(How I Met Your Mother)

Indice Generale

Sommario	15
Introduzione.....	17
1. DFA e Metodi di unione	19
1.1 La saldatura	23
1.2 Le unioni bullonate	30
1.3 L'incollaggio	33
1.4 Gli accoppiamenti forzati mozzo-albero.....	35
1.5 Gli accoppiamenti a scatto	36
2. Gli Snap-fit.....	37
2.1 Introduzione agli Snap-fit	37
2.2 Le tipologie Snap-fit	41
2.3 Gli Snap-fit metallici.....	45
2.4 La progettazione Snap-fit.....	48
2.4.1 I requisiti chiave del Sistema Snap-fit	48
2.4.2 Scelta del Sistema Snap-fit	53
2.4.3 La dinamica dello snap-fit.....	60
2.5 Progettazione preliminare del Sistema Snap-fit.....	65
3. I campi di applicazione	71
3.1 Le barriere antirumore	71
3.1.1 Pannelli.....	73
3.1.2 Struttura portante.....	74
3.1.3 Materiale fonoisolante.....	75
3.2 Pannelli per stand fieristici.....	77
3.2.1 Pannelli in PVC.....	77
3.2.2 Pannelli in legno ed MDF	78
3.2.3 Pannelli in alluminio	80

4. Applicazioni attuali	81
4.1 Processi di assemblaggio delle barriere antirumore.....	81
4.2 Processi di assemblaggio dei pannelli fieristici	84
5. I progetti	87
5.1 Applicazione per barriere antirumore	93
5.1.1 Maschera di chiusura delle barriere (BFT3)	94
5.1.2 Dispositivo Snap-fit Bloccaggio Barriere (DSBB).....	96
5.2 Applicazione per pannelli per stand fieristici	98
5.2.1 Zoccolino Snap-fit per Pannelli (ZPT1).....	101
5.2.2 Sistema bloccaggio pannelli (CPTxx).....	102
6. Progettazione ed analisi F.E.M.	105
6.1 Applicazione per barriere antirumore	106
6.1.1 Maschera di chiusura delle barriere (BFT3)	106
6.1.2 Dispositivo Snap-fit Bloccaggio Barriere (DSBB).....	112
6.2 Applicazione per pannelli per stand fieristici	118
6.2.1 Zoccolino Snap-fit per Pannelli (ZPT1).....	118
6.2.2 Sistema bloccaggio pannelli (CPTxx).....	124
7. Realizzazione del prototipo CPT3.....	133
8. Conclusioni e sviluppi futuri	141
Ringraziamenti	145
Bibliografia	147
Appendice A - Calcoli e costruttivi progetti.....	149

Elenco delle Figure

1-1: Esempio di DFA	20
1-2: Esempio pratico DFA	21
1-3: Manico originale (A) e riprogettato (B)	21
1-4: Distanziale e rondella separati(A) ed uniti (B)	21
1-5: Vite (A) e Snap-fit plastico (B).....	22
1-6: Saldatura autogena (A) ed eterogena (B).....	23
1-7: Tipi di cianfrinatura	23
1-8: Postazione MIG	24
1-9: Spaccato torcia di saldatura	24
1-10: Schematizzazione saldatura TIG	25
1-11: Torcia TIG.....	26
1-12: Puntamento tubi	26
1-13: Postazione Saldatura Laser	27
1-14: Saldatura per conduzione.....	27
1-15: Saldatura per profonda penetrazione	28
1-16: Effetti in base alla scelta di P_i e v	28
1-17: Possibili risultati saldatura laser	29
1-18: Brasatura	29
1-19: Componenti base unione bullonata.....	31
1-20: Unione a taglio.....	31
1-21: Unione a trazione	32
1-22: Unione ad attrito	32
1-23: Tipologie di Incollaggio.....	33
1-24: Fenomeno della pelatura e possibili soluzioni.....	34
1-25: Fasi del calettamento forzato	35
1-26: Schema logico forzamento mozzo-albero	35
1-27: Snap-fit plastico	36
2-1: Orecchino Snap-fit.....	38
2-2: Esempi di Snap-fit nella vita comune	39
2-3: Elementi di uno Snap-fit.....	40
2-4: Montaggio Snap-fit.....	41
2-5: Cantilever hook.....	41
2-6: Uncino ad L	42
2-7: Loop Hook	42
2-8: Trap Lock.....	43
2-9: Bayonet and finger.....	43
2-10: Post and dome.....	43
2-11: Snap-fit anulare.....	44

2-12: Collegamento Snap-fit per tubazione	44
2-13: Particolare costruttivo "Snap-fit" Gazebo	46
2-14: Particolare applicazione Snap-fit bloccaggio pannelli	47
2-15: Applicazione Snap-fit bloccaggio pannelli.....	47
2-16: Caso di vincolo completo (I) e di vincolo parziale (II)	50
2-17: Esempio di errata compatibilità.....	52
2-18: Bloccaggio Snap-fit permanente.....	56
2-19: Snap-fit rilasciabile (A) e Snap-fit non rilasciabile (B).....	57
2-20: Parametri scelta Snap-fit.....	57
2-21: Esempi di Solido (A) e di Pannello (B).....	58
2-22: Esempi di Chiusura (C) e di Superficie (D)	59
2-23: Esempi di Apertura (E) e di Cavità (F).....	59
2-24: Esempio collegamento Pannello/Pannello.....	60
2-25: Direzione di ingaggio e smontaggio	60
2-26: Direzione di ingaggio corretta (A) e scorretta (B).....	61
2-27: Direzione di ingaggio della parte.....	62
2-28: Esempio di Spinta (A) e di Scorrimento (B)	62
2-29: Esempio di Puntamento (C), di Torsione (D) e di Imperniatura (E).....	63
2-30: Dimensioni caratteristiche Snap-fit	65
2-31: Schematizzazione a mensola Snap-fit	66
2-32: scomposizione delle forze X in base all'angolo θ	67
2-33: Calcolo attrito e forza risultante	68
2-34: Calcolo della Forza verticale	68
3-1: Pannello (A) e materiale fonoassorbente (B) di una barriera	72
3-2: Struttura portante barriera antirumore	74
3-3: Pannelli in PVC	77
3-4: Pannello in compensato	78
3-5: Pannelli in MDF	79
3-6: Particolare pannelli e anima in cartone.....	79
3-7: Pannelli in Alluminio	80
4-1: Componenti barriera	81
4-2: Sovrapposizione moduli	82
4-3: Testata chiusura barriera	82
4-4: Blocchetti in MDF	84
4-6: Blocchetto nel primo.....	84
4-5: Assieme pannelli (1) e blocchetto (2).....	84
4-7: Collegamento della parte superiore con viti ed avvitatore elettrico	85
4-8: Disposizione a T pannelli	85
4-9: Montaggio pannelli in metallo.....	86
5-1: Esempi di angoli α e β	88
5-2: Esempi e definizione di spessore e Dimensione.....	88
5-3: Esempi di visuale ostruita e accesso difficoltoso con possibili soluzioni di montaggio.....	91

5-4: Pannelli laterali barriera antirumore	95
5-5: Maschera Snap-fit	95
5-6: Dispositivo Snap-fit bloccaggio barriere	97
5-7: Difetti dovuti all'utilizzo. Rottura degli spigoli (A) e deterioramento facciata e verniciatura (B).....	98
5-8: Pannello in alluminio riprogettato	99
5-9: Particolare pannello: tubazioni in PVC	100
5-10: Zoccolino Snap-fit	101
5-11: Particolare montaggio Zoccolino-Pannello	101
5-12: Collegamento pannelli CPT2A (sx) e CPT3 (dx)	103
6-1: modellazione shell BFT3	108
6-2: Posizione iniziale e finale BFT3	109
6-3: Massima flessione BFT3	109
6-4: Posizione massimo sforzo BFT3	110
6-5: Sforzo massimo BFT3	110
6-6: Reazione vincolare montaggio BFT3	111
6-7: Reazione vincolare montaggio BFT3	112
6-8: modellazione shell DSBB	113
6-9: Posizione iniziale DSBB	114
6-10: Posizione finale DSBB	114
6-11: Flessione massima DSBB	115
6-12: Momento massimo DSBB	115
6-13: Reazione vincolare pannello DSBB	116
6-14: Reazione vincolare trave DSBB	116
6-15: Analisi reazioni vincolari DSBB	117
6-16: modellazione shell pannello (A) e zoccolino (B) ZPT1	119
6-17: Posizione iniziale e finale ZPT1	120
6-18: Massima flessione ZPT1	121
6-19: Posizione massimo sforzo ZPT1	121
6-20: Sforzo massimo ZPT1	122
6-21: Reazione vincolare montaggio ZPT1	122
6-22: Reazione vincolare smontaggio ZPT1	123
6-23: modellazione shell collegamento (A) e pannello (B) CPT2A	124
6-24: Posizione iniziale CPT2A	125
6-25: Posizione finale CPT2A	125
6-26: Massima flessione CPT2A	126
6-27: Posizione massimo sforzo CPT2A	126
6-28: Sforzo massimo CPT2A	127
6-29: Reazione vincolare CPT2A	127
6-30: modellazione shell collegamento CPT3	128
6-31: Posizione iniziale CPT3	129
6-32: Posizione finale CPT3	129
6-33: Massima flessione CPT3	129

6-34: Posizione massimo sforzo CPT3	130
6-35: Sforzo massimo CPT3	130
6-36: Reazione vincolare CPT3	130
7-1: Barre base in alluminio	133
7-2: Sviluppo dispositivo	133
7-3: Pressa	134
7-4: Punta e contropunta per pressa	134
7-5: Prima piega	135
7-6: Seconda piega	135
7-7: Profili a W accostati	136
7-8: Profili saldati	136
7-9: Collegamento Snap-fit finale grezzo	137
7-10: Particolare profilo finale grezzo	137
7-11: Collegamento Snap-fit completo	138
7-12: Blocchetto in ottone	138
7-13: Prototipo completo	139
7-14: Modifica punta Snap-fit	140
7-15: Assemblaggio Snap-fit modificato	140
8-1: Placchette per agevolare lo smontaggio	142
8-2: Dispositivo di sbloccaggio a cacciavite	142
8-3: Zoccolino superiore modificato	143
8-4: Montaggio zoccolino superiore modificato	144

Elenco delle Tabelle

2-1: Confronto tra Snap-fit correttamente vincolati, ipo-vincolati ed iper-vincolati	51
5-1: T. manipolazione per parti afferrabili e manipolabili con una mano senza attrezzi	89
5-2: T. manipolazione per parti afferrabili e manipolabili con una mano ma con l'aiuto di oggetti di afferraggio	89
5-3: T. manipolazione per parti che si aggrovigliano facilmente o sono molto flessibili ma che possono essere afferrate e spostate con una mano (se necessario usando oggetti di afferraggio)	90
5-4: T. manipolazione per parti che richiedono due mani per l'afferraggio e il trasporto.....	90
5-5: T. inserimento se nessuna delle parti o di quelle ad esse collegate sono bloccate immediatamente in modo finale	91
5-6: T. inserimento se la parte e/o quelle ad essa collegata sono bloccate immediatamente in modo finale.....	92
5-7: T. inserimento per processi di assemblaggio dove tutte le parti solide sono in posizione	92
5-8: Tempi di assemblaggio barriera antirumore standard.....	93
5-9: Tempi di assemblaggio barriera con fermapannello a C.....	93
5-10: Tempi di assemblaggio barriera con fermapannello saldato.....	94
5-11: Tempi di assemblaggio barriera antirumore riprogettata	96
5-12: Tempi assemblaggio con dispositivo bloccaggio barriere riprogettato	97
5-13: Tempi di assemblaggio verticale pannelli in MDF.....	100
5-14: Tempi di collegamento pannelli in MDF.....	101
5-15: Tempi assemblaggio verticale con Zoccolino Snap-fit.....	102
5-16: Tempi di collegamento con CPTxx	104
6-1: Proprietà meccaniche Al 3103-H14.....	106
6-2: Valori minimi BFT3.....	107
6-3: Proprietà meccaniche Al 6082	112
6-4: Proprietà meccaniche S275.....	112
6-5: Valori minimi DSBB.....	113
6-6: Valori minimi ZPT1	118
6-7: Valori minimi CPT2A.....	124
6-8: Valori minimi CPT3.....	128
A-9: Dati BFT3	149
A-10: Riepilogo valori minimi BFT3	149
A-11: Dati DSBB	150
A-12: Riepilogo valori minimi DSBB	150
A-13: Dati ZPT1	151
A-14: Riepilogo valori minimi ZPT1.....	151

A-15: Dati CPT2A	152
A-16: Riepilogo valori minimi CPT2A	152
A-17: Dati CPT3	153
A-18: Riepilogo valori minimi CPT3	153

Elenco simboli utilizzati nel testo

α	Angolo di impegno Snap-fit
β	Angolo di disimpegno Snap-fit
μ_s	Coefficiente di attrito statico
μ_d	Coefficiente di attrito dinamico
E	Modulo elastico o Modulo di Young
LR	Locking Ratio
$F_{\text{smontaggio}}$	Forza di smontaggio
$F_{\text{assemblaggio}}$	Forza di assemblaggio
$F_{\text{smontaggio}}^v$	Forza volumetrica di smontaggio
V	Volume
$F_{\text{smontaggio}}^d$	Forza dimensionale di smontaggio
DC	Dimensione caratteristica
L	Distanza base/parte terminale
H	Altezza collegamento a scatto
B	Larghezza base
Y	Sottosquadro dato dal terminale/flessione max
F	Carico applicato
f	Freccia
I	Modulo di inerzia
M_{max}	Momento massimo
y	Altezza sezione
σ	Sforzo normale
σ_{max}	Sforzo normale massimo
σ_{amm}	Sforzo normale ammissibile
R_{sn}	Carico di snervamento
R_{mn}	Carico di rottura
η	Coefficiente di sicurezza
y	Direzione verticale
F_y	Forza in direzione verticale
X	Forza esercitata orizzontalmente
N	Componente normale X
T	Componente tangenziale X
θ	Angolo generico
F_{att}	Forza d'attrito
F_{ris}	Forza risultante
$n_{\text{snap-fit}}$	Numero Snap-Fit nell'applicazione
N	Numero di Fresnel
δ	Differenza percorsi suono

λ	Lunghezza d'onda
ρ	Coefficiente di riflessione
α	Coefficiente di assorbimento
NRC	Noise Reduction Coefficient
TL	Transmission Loss
T_{eff}	Tempo effettivo montaggio parti
E_{DfA}	Efficienza di montaggio
t_{min}	Tempo minimo montaggio parti
N_{min}	Numero minimo parti
Sp	Spessore
A	Allungamento percentuale
ν	Numero di Poisson
RP	Reference Point
f	Forza per unità di lunghezza

Sommario

I collegamenti a scatto integrati, o Snap-fit, possono essere un'ottima alternativa ai metodi di unione classici utilizzati per la realizzazione di oggetti composti da più parti. I loro punti di forza sono: la praticità, la velocità di montaggio e soprattutto l'intuitività. In campo elastico questi dispositivi sono molto diffusi grazie alla rigidità relativamente bassa che permette l'utilizzo di componenti non ingombranti e alla facilità di realizzazione attraverso il processo di iniezione. Il problema degli Snap-fit plastici è legato alla bassa resistenza meccanica e quindi all'impossibilità di essere utilizzati in campo strutturale. I materiali metallici, che possono essere utilizzati in questo campo, presentano però dei grossi problemi: un alto modulo di rigidità porta all'utilizzo di componenti troppo sottili, con problemi di resistenza meccanica, o troppo lunghi, con problemi di ingombro. Inoltre la richiesta di elevati livelli di dettaglio e di precisione riducono i processi tecnologici utilizzabili sotto il punto di vista della competitività economica e di produzione. Questa tesi propone delle possibili applicazioni di Snap-fit metallici strutturali in due campi diversi: le barriere antirumore e gli stand fieristici. In entrambi i casi si è cercato di dare una soluzione ai problemi di rapidità di assemblaggio, con la progettazione di dispositivi di collegamento e bloccaggio Snap-fit, e alla praticità di manutenzione, con la progettazione di chiusure apribili facilmente per le barriere e l'utilizzo di materiali più resistenti del MDF per i pannelli divisorii degli stand. Si sono scelti come materiali di costruzione le leghe di alluminio che forniscono la resistenza meccanica e l'elasticità richiesta. Infine la realizzazione di un prototipo di uno di questi progetti ha fornito interessanti spunti per progettazioni future ed ha confermato che uno studio più accurato di questa tecnologia può dare ottimi risultati in campo strutturale metallico.

Parole chiave: Snap-fit, accoppiamento a scatto metallici, alluminio, barriere antirumore, pannelli per stand fieristici, praticità.

Abstract

The Snap-fits can be an excellent alternative to traditional joining methods used in the creation of objects composed of several parts. Their main features are: the practicality, speed of assembly and especially the intuitiveness. In the elastic range, these devices are very employed thanks to the relatively low stiffness that allows the use of not bulky components and ease of realization through the process of injection. As plastic Snap-fits present low mechanical strength, they are

impossible to be used in the structural field. On the other hand, metallic materials, which can be used in this field, present several issues: a high Young Modulus requires components too thin, leading to problems of low mechanical strength, or too long, with space problems. Furthermore, the demand for high levels of detail and precision reduces the technological processes available, considering both economic competitiveness and production. The aim of this work is to study applications of metallic structural Snap-fit in two different fields: noise barriers and exhibition stands. In both cases, it has been given a solution to issues as rapid assembly, with the design of Snap-fit connection, and ease of maintenance, by designing closures of the barriers that can be easily opened and using stronger materials than MDF for the panels. The material chosen is an aluminum alloys which provides both the mechanical strength and the elasticity required. As expected, the realization of the prototype for one of these projects has provided interesting insights for future designs, and confirmed that a further study of this technology will bring excellent results in the metallic structural field.

Keywords: Snap-fit, aluminum, noise barriers, panels for exhibition stands, practicality.

Introduzione

Esistono diverse tecniche di progettazione che mirano ad ottenere caratteristiche particolari nella realizzazione di un componente o di un sistema. Si cerca di ottimizzare i processi di assemblaggio o di disassemblaggio e i processi di produzione o di smaltimento ecosostenibile. Le principali tipologie sono quelle legate al processo di progettazione e di montaggio e smontaggio di un assieme e sono definite con la sigla DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) o DFD (Design For Disassembly): l'obiettivo è l'ottenimento di sistemi maggiormente convenienti dal punto di vista economico, della produttività e della praticità attraverso la riduzione dei componenti utilizzati. Le tecniche classiche come la saldatura, la bullonatura, l'incollaggio o il forzamento sono state ampiamente studiate e permettono la realizzazione di sistemi resistenti e sicuri. Nonostante questo, sono presenti delle problematiche intrinseche ai processi, basti pensare all'alterazione termica data dalla saldatura o all'aumento di peso ed ingombro della viteria. Nel campo plastico l'alternativa principale alle tecniche classiche è l'accoppiamento a scatto integrato, o Snap-fit: sfruttando l'elasticità dei polimeri si creano delle parti direttamente sui pezzi che in seguito ad una flessione data dalle forze di montaggio tornano alla posizione originale bloccandosi nella sede.

L'obiettivo che si propone questa tesi è quello di dimostrare, attraverso lo sviluppo di alcuni progetti innovativi, che gli accoppiamenti a scatto integrato possono essere utilizzati anche per accoppiamenti tra elementi metallici e quindi con applicazioni strutturali. Un semplice movimento traslazionale o di puntamento può rendere saldo un collegamento in modo reversibile evitando gli altri processi che risultano lunghi o complicati come nel caso della saldatura. Dopo aver valutato le diverse tipologie di Snap-fit esistenti, è stato realizzato un foglio di calcolo per la determinazione automatica dei valori minimi di lunghezza e spessore degli uncini in funzione della sua larghezza, degli angoli di inserimento, delle forze di montaggio (e smontaggio) e del materiale utilizzato.

I campi in cui sono state studiate delle possibili innovazioni sono quelle delle barriere stradali antirumore e dei collegamenti per pannelli di stand fieristici. Nel primo caso si è cercata una soluzione agli eccessivi tempi di montaggio e alla praticità di smontaggio del modulo della barriera per la sostituzione del materiale fonoassorbente o dei pannelli, che possono deteriorarsi in seguito alla proiezione di detriti dal manto stradale. Nel secondo caso invece si è cercato di velocizzare l'assemblaggio delle pareti degli stand introducendo un nuovo tipo di collegamento e di fissaggio a terra. I pannelli utilizzati sono diversi da quelli comuni in MDF in quanto saranno costituiti in alluminio con all'interno una

schiuma rigida in poliuretano: le pareti risulteranno più pesanti ma sarà possibile personalizzarle e nascondere al loro interno i cavi elettrici.

La progettazione preliminare è stata completata attraverso un'analisi ad elementi finiti e un'analisi dell'efficienza di montaggio. Con l'ausilio del software Abaqus CAE è stato possibile valutare gli effettivi sforzi risultanti durante le fasi di montaggio e smontaggio e la forza richiesta per il montaggio manuale dei vari componenti. L'efficienza di montaggio, invece, è stata valutata attraverso il metodo Boothroyd, che permette di valutarne i tempi standard di ogni fase del montaggio grazie ad opportune tabelle, sia per le tecniche attuali che per quelle della fase della riprogettazione.

Infine grazie alla ditta di carrucole *Franco Sola* è stato possibile realizzare il prototipo di uno dei cinque progetti validando le ipotesi progettuali ed ottenendo interessanti spunti per degli sviluppi futuri.

Capitolo 1

DFA e Metodi di unione

Nella quasi totalità dei casi la realizzazione di un oggetto comporta l'unione di componenti differenti. La necessità di avere materiali diversi, la fattibilità tecnologica, i costi da sostenere sono i principali motivi che portano all'utilizzo di più parti, e quindi a metodi di collegamento per renderle un unico oggetto.

In svariati casi i pezzi che vengono utilizzati sono superiori al necessario: questo comporta un aumento di costi e dei tempi di montaggio e smontaggio che con una progettazione più accurata si sarebbero evitati.

Le modalità di progettazione che rispecchiano questa volontà di riduzione dei tempi, e quindi dei costi, in fase di assemblaggio e disassemblaggio sono espresse con la sigle DFA e DFD. Nel primo caso si parla di Design for Assembly (Progettazione per l'Assemblaggio), nel secondo di Design for Disassembly (Progettazione per il Disassemblaggio). Si intendono quindi tutti i criteri che consentono di ottimizzare i costi del processo di assemblaggio (o disassemblaggio) guidando il progettista, attraverso la scelta dei metodi di unione delle parti, verso una soluzione ad un minor costo.

Verso la fine degli anni '60, con l'introduzione in grande scala dei materiali plastici per la produzione in grande serie, sono state valutate nuove tecniche e sistemi di montaggio per diminuire i tempi di assemblaggio con l'aumento della produttività e di una contemporanea riduzione dei costi. A conferma di ciò alla fine degli anni '80 (periodo di massima diffusione negli USA di queste logiche di progettazione) due grandi case automobilistiche, la Ford e la GM, espressero la necessità di utilizzare questa tipologia di progettazione per migliorare la propria produttività. La prima casa, infatti, dichiarò di aver risparmiato miliardi di dollari grazie all'utilizzo di un software DFA, la seconda, invece, imputava all'assenza di una procedura DFA il 40% della differenza complessiva di produttività con la Ford.

Il funzionamento del design for Assembly si basa sull'osservazione generale del progetto dell'articolo da produrre e sulla revisione dello stesso che avviene rispondendo a tre domande:

- Durante l'esercizio un particolare si muove rispetto agli altri oppure no?
- C'è un motivo per cui le diverse parti debbano essere costruite con materiali diversi?
- Le diverse parti devono essere separabili dalle altre, pena l'impossibilità di completare l'assemblaggio o lo smontaggio?

Queste tre domande guidano il progettista alla scelta di alternative al progetto iniziale cercando di aumentare l'efficienza di assemblaggio del prodotto. Successivamente, questa analisi di costi di montaggio va implementata facendo considerazioni di tipo tecnologico valutando se le nuove soluzioni possono essere realmente ottenute senza aumentare i costi o se l'utilizzo di materiali diversi possono avere un impatto positivo sulla soluzione originale. Per questi motivi il design for Assembly è strettamente legato al design for manufacturing (DFM), spesso infatti vengono uniti in un'unica tipologia di design: il DFMA o Design for Manufacture and Assembly (Progettazione per la fabbricazione e l'assemblaggio). In Figura 1-1 è rappresentata una generica applicazione di DFA. Il pezzo A presenta 5 componenti. Dopo una riprogettazione preliminare si giunge al pezzo B in cui è presente una sola parte. A questo punto è necessario stabilire innanzitutto se il secondo caso è tecnologicamente fattibile, successivamente bisognerà valutare se i costi di produzione e assemblaggio del caso A siano realmente superiori a quelli del caso B.

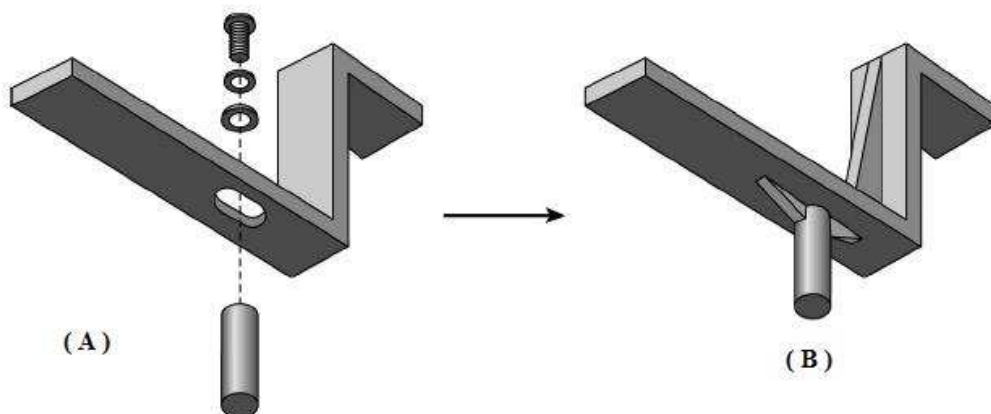


Figura 1-1: Esempio di DFA



Un esempio pratico di applicazione del DFA può essere quello in Figura 1-2: questo modello di pompa per bicicletta risulta avere all'incirca trenta componenti. Una diversa progettazione mirata alla riduzione dei tempi di assemblaggio potrebbe ridurre notevolmente i pezzi utilizzati.

Il manico della pompa inizialmente è composto da un corpo cilindrico bloccato attorno ad una barra filettata da due dadi (Figura 1-3A). Successivamente dopo la riprogettazione si ottiene un corpo cilindrico con due fori filettati (Figura 1-3B). La rondella e il distanziale (Figura 1-4A) non richiedono un movimento relativo tra loro: è possibile creare un'unica parte (Figura 1-4B) che abbia la stessa funzione riducendo così i passaggi per il montaggio dei componenti. Infine utilizzando uno Snap-fit plastico al posto di una vite (Figura 1-5 A e B) si possono ridurre sensibilmente i tempi di assemblaggio.

Figura 1-2: Esempio pratico DFA



Figura 1-3: Manico originale (A) e riprogettato (B)

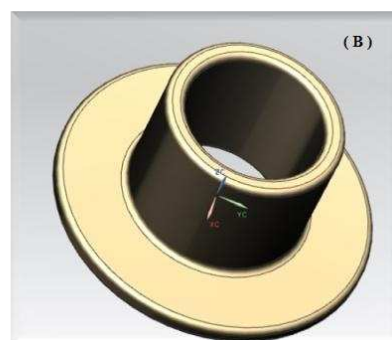


Figura 1-4: Distanziale e rondella separati(A) ed uniti (B)

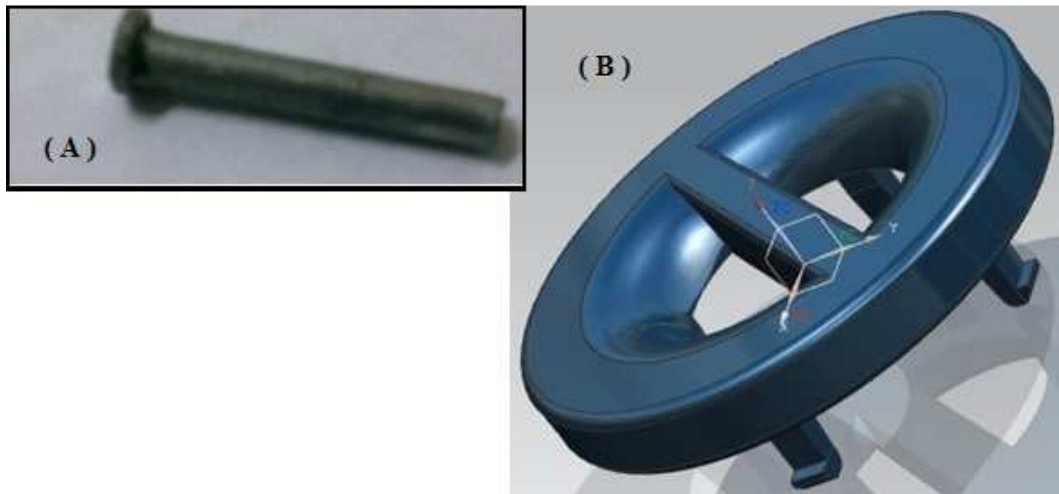


Figura 1-5: Vite (A) e Snap-fit plastico (B)

Uno dei problemi principali nel design for Assembly è senza dubbio quello della scelta del metodo di unione. La criticità di questa scelta è data dal fatto che influenza fortemente il tempo di assemblaggio e quindi può aumentare o diminuire significativamente i costi del prodotto.

Tutti i tipi di collegamento hanno aspetti positivi e negativi che faranno cadere la scelta su uno o su un altro, solitamente i criteri sono:

- La *funzione* del collegamento (trasmissione moto, stabilità del componente ecc.)
- Il *tempo* per il quale il collegamento dovrà rimanere funzionante
- Il *materiale* che si è scelto di utilizzare
- La *resistenza meccanica* rispetto ai carichi applicati
- La *praticità* di assemblaggio

I principali metodi di unione utilizzati sono la saldatura, le unioni bullonate, l'incollaggio, il forzamento e gli accoppiamenti a scatto (gli Snap-fit).

1.1 La saldatura

Questo processo permette di unire due parti metalliche in modo permanente realizzando la continuità del materiale mediante fusione. La saldatura può essere classificata in due classi: saldatura *autogena* e saldatura *eterogena*. Se il giunto viene scaldato fino a fondere, unendo così i due lembi col materiale stesso del giunto (o con l'aiuto di un materiale d'apporto omogeneo) si parla di saldatura autogena. Se invece, una volta riscaldato il giunto sotto la temperatura di fusione, viene aggiunto al di sopra di esso un materiale di apporto fuso (e con un punto di fusione inferiore) si parla di saldatura eterogena o di *brasatura*.

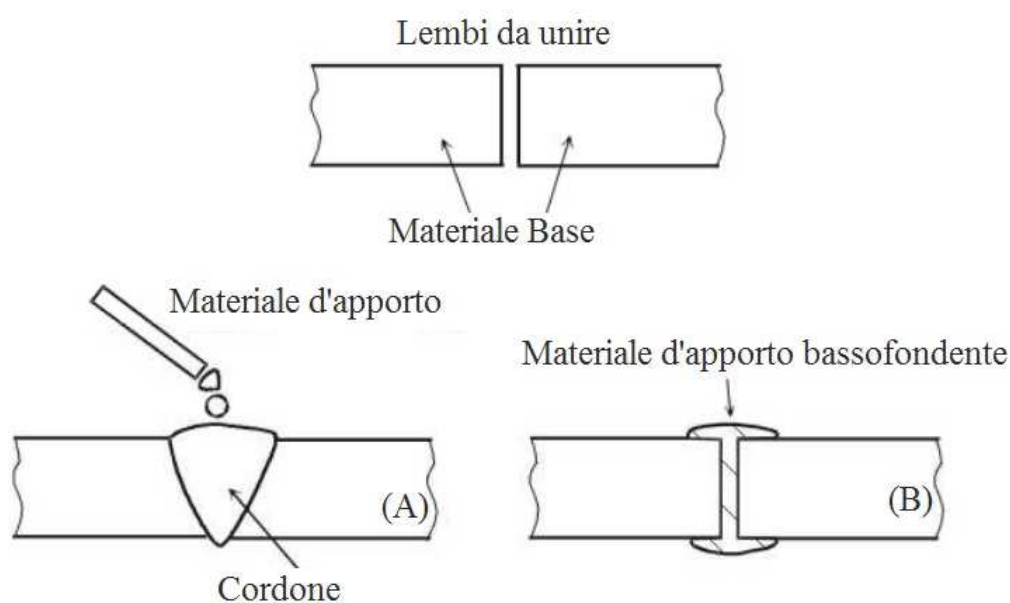


Figura 1-6: Saldatura autogena (A) ed eterogena (B)

Le diverse tipologie di saldatura hanno un procedimento generico che le accomuna: innanzitutto è necessario, attraverso la cianfrinatura, modificare i due lembi del giunto fornendo una forma opportuna in base allo spessore, la resistenza e il tipo di saldatura. La cianfrinatura può essere di tre tipi: a V, a X e a U.

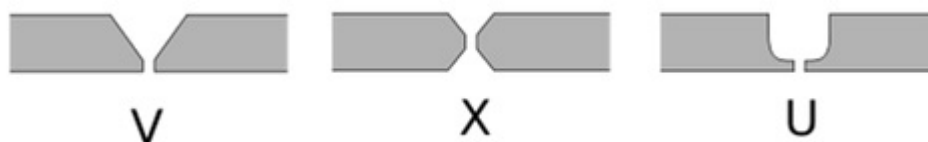
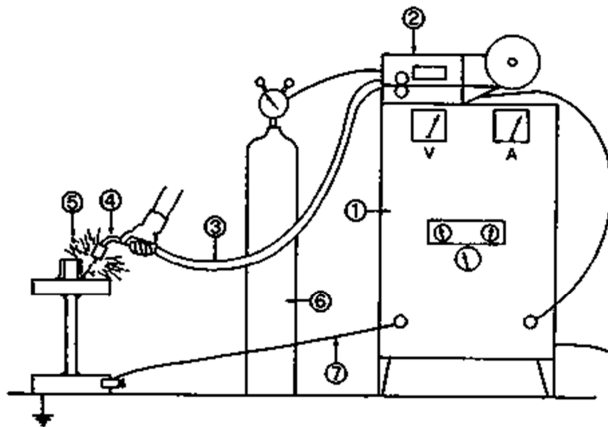


Figura 1-7: Tipi di cianfrinatura

Successivamente con diversi sistemi (fiamma ossidrica, arco elettrico, effetto joule o laser) si apporta il calore necessario per l'attuazione del processo. Per ottenere una saldatura accettabile sotto i punti di vista della resistenza e delle imperfezioni la zona di fusione deve essere protetta dai fenomeni di ossidazione e deve essere depurata dalle scorie. Bisogna quindi utilizzare un'atmosfera inerte con sostanze come gas che creano una coltre protettiva che protegge dall'ossigeno e che espelle le scorie.

Uno dei processi più utilizzati è senza dubbio la **saldatura MIG**: procedimento autogeno a filo continuo limitato ad una applicazione su strutture di qualità bassa. Utilizza l'elevata temperatura prodotta da un arco elettrico scoccato tra un elettrodo fusibile e il pezzo da saldare. Il filo oltre ad essere l'elettrodo necessario per far scoccare l'arco funge anche da materiale di apporto. La postazione per saldatura MIG è relativamente costosa e ingombrante in quanto composta da varie componenti come visibile nella Figura 1-8: un generatore di corrente (1) fornisce elettricità alla torcia (4) attraverso il filo all'interno del tubo protettivo (3). È



presente un aspo avvolgifilo e un meccanismo di avanzamento e controllo del filo (2) e una bombola con gas di protezione (6).

Sono evidenziati anche il pezzo da saldare (5) e la messa a terra (7).

Figura 1-8: Postazione MIG

La particolarità di questo procedimento è l'utilizzo di una torcia manuale: l'operatore può tenere l'arco sotto controllo diretto verificando che la saldatura sia eseguita in maniera corretta.

La torcia è composta da diverse componenti:

- 1- Impugnatura
- 2- Isolante (bianco) e inserto filettato per la guida del filo (giallo)
- 3- Ugello gas di protezione
- 4- Guidafile
- 5- Bocchello di alimentazione del gas di protezione.

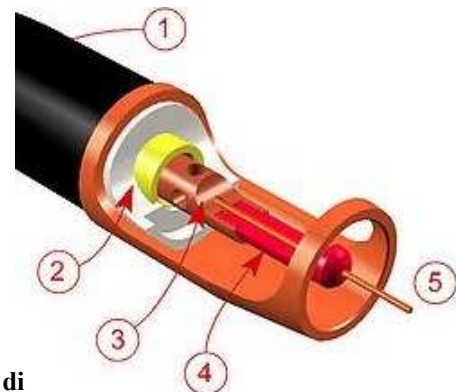


Figura 1-9: Spaccato torcia di saldatura

La saldatura di tipo MIG è utilizzata se è richiesta una produttività alta con una sufficiente flessibilità d'impiego. È necessario utilizzare questo procedimento solo in un ambiente privo di grandi correnti d'aria, ad esempio un'officina, in quanto il flusso di gas di protezione non deve essere disperso. Solitamente questo procedimento è soggetto a cricche a caldo, in quanto è necessario un alto apporto termico, e alla presenza di impurità, poiché la pulizia dei lembi da saldare richiesta non è sempre adeguata. Se l'apporto termico è troppo elevato si ha una penetrazione eccessiva o intagli marginali, se invece l'apporto è troppo basso non si ha una fusione adeguata dei lembi. Se la portata di gas è troppo bassa è molto probabile la formazione di porosità.

Il secondo processo molto diffuso è quello della *saldatura TIG*: procedimento autogeno effettuato con un elettrodo in tungsteno infusibile che fornisce giunti di elevata qualità ma richiede operatori altamente specializzati. Il procedimento si basa sull'utilizzo di una torcia in cui è inserito un elettrodo in tungsteno attorno al quale fluisce il gas di protezione. L'operatore muove la torcia lungo il giunto fondendo il materiale e, nel caso di materiale d'apporto, contemporaneamente sposta anche la bacchetta di materiale in modo da tenerla sempre a contatto con l'estremità dell'arco e sotto il gas di protezione.

La postazione di saldatura TIG è mostrata in Figura 1-10: Il generatore (1) fornisce corrente alla torcia (2) che fonde il pezzo (5) e il materiale d'apporto (4). Un generatore di gas (3), solitamente argon, invia il flusso di aria protettiva verso la torcia, la cui temperatura, grazie ad un circuito secondario di raffreddamento ad acqua (6/7), viene abbassata.

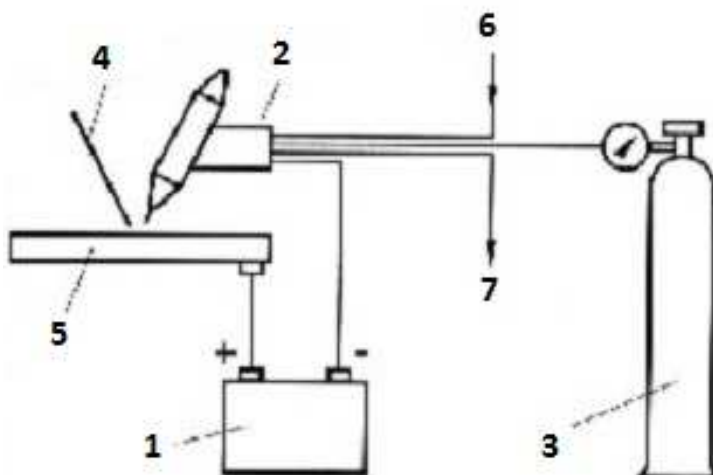


Figura 1-10: Schematizzazione saldatura TIG

La torcia è schematizzata in Figura 1-11: l'elettrodo (5) viene posto nella pinza portaelettrodo (4). La pinza viene bloccata nell'impugnatura (3) con il corpo della pinza (2). Infine il cappellotto di chiusura (1) e la punta refrattaria (6) completano l'assemblaggio della torcia proteggendo i materiali fragili al loro interno.

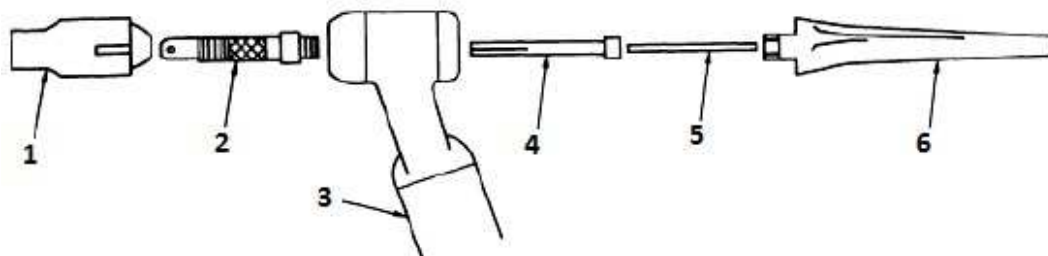


Figura 1-11: Torcia TIG

La saldatura TIG è particolarmente indicata per saldati di piccoli spessori e per bassa produttività. Solitamente si utilizza per dare una prima passata al giunto, come nel caso del puntamento di tralicci, mentre il riempimento viene effettuato successivamente con procedimenti a produttività più elevata. Date le sue caratteristiche, il procedimento può essere utilizzato in qualsiasi posizione e per saldature continue ed a punti. Come nel caso di saldatura MIG è consigliabile effettuare la saldatura in un luogo chiuso per evitare la dispersione del gas di protezione.

I difetti tipici di questa modalità di saldatura sono principalmente legati ad inclusioni di tungsteno: se l'elettrodo viene a contatto con il bagno di fusione è possibile che si frammenti rilasciando alcune schegge di piccole dimensioni che possono innescare rotture fragili. Altri difetti sono le porosità, mancanza di fusione e cricche.



Figura 1-12: Puntamento tubi

L'ultima tipologia di saldatura più importante è quella che avviene tramite tecnologia **LASER**. Questa tecnologia ha numerosi vantaggi rispetto alle tradizionali tecnologie in quanto permette di ottenere elevati volumi produttivi con un apporto termico contenuto: questa proprietà è molto positiva in quanto si ha una alterazione termica minore e un cordone di saldatura più piccolo. Quest'ultimo pregio è utile soprattutto dal punto di vista estetico poiché non sono necessarie successive lavorazioni di finitura superficiali. Il laser può essere utilizzato per saldare materiale metallico e plastico anche se la prima delle due applicazioni è quella più diffusa.

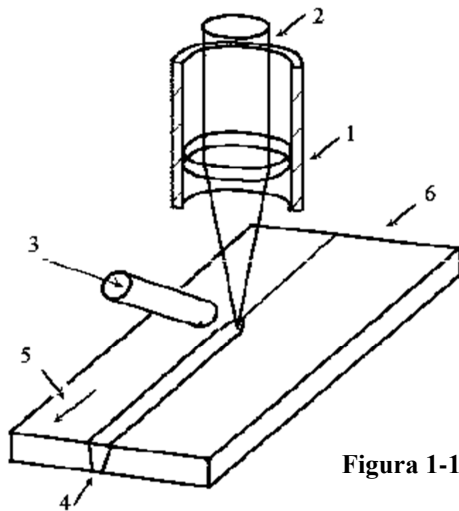


Figura 1-13: Postazione Saldatura Laser

In maniera generale il principio della saldatura laser è rappresentato in Figura 1-13: la testa laser (1) genera un fascio (2). Il pezzo (6), che avanza lungo la direzione (5), viene riscaldato fino a fondersi e risolidificandosi (4). Come negli altri processi è necessario un condotto di immissione di gas inerte (3).

Esistono due tipi di saldatura laser:

- per conduzione (o per fusione)
- per profonda penetrazione (o per vaporizzazione o saldatura "keyhole")

Il primo processo, utilizzato sia per materiali metallici che polimerici, adotta il laser come sorgente di calore che riscalda i pezzi fino a portarli a fusione generando una pozza di fusa di materiale. La geometria del cordone è semicircolare con un rapporto di forma unitario. Questa geometria rispecchia la modalità di diffusione del calore.

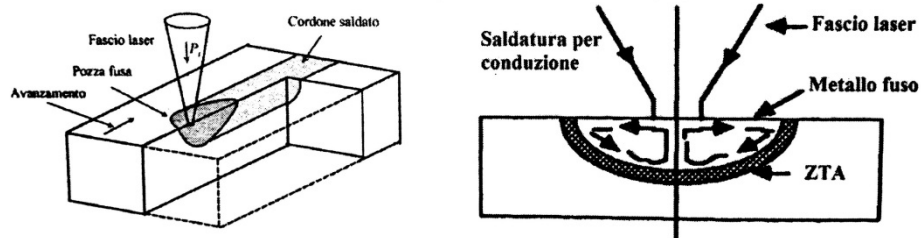


Figura 1-14: Saldatura per conduzione

Il secondo processo utilizza il laser per vaporizzare molto rapidamente il materiale che si allontana velocemente lasciando esposto altro materiale più in profondità al fascio. Questo processo crea un canale, chiamato keyhole, molto stretto e profondo in cui il vapore metallico all'interno si scalda fino a ionizzarsi, creando uno stato di plasma. Parte di questo plasma fuoriesce e si allontana dal canale mentre quello alle spalle si solidifica velocemente e genera il cordone di saldatura. Il calore viene interamente assorbito dalle pareti del canale e non dalla superficie garantendo un'elevata qualità della saldatura.

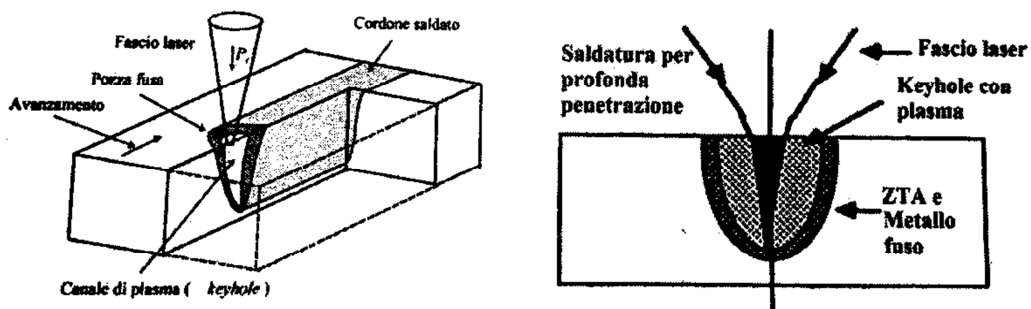


Figura 1-15: Saldatura per profonda penetrazione

Le problematiche di questo processo sono legate ai valori di potenza (P_i) e alla velocità di avanzamento (v) del laser. Infatti a seconda del valore di questi due parametri si possono ottenere diversi risultati come in Figura 1-16.

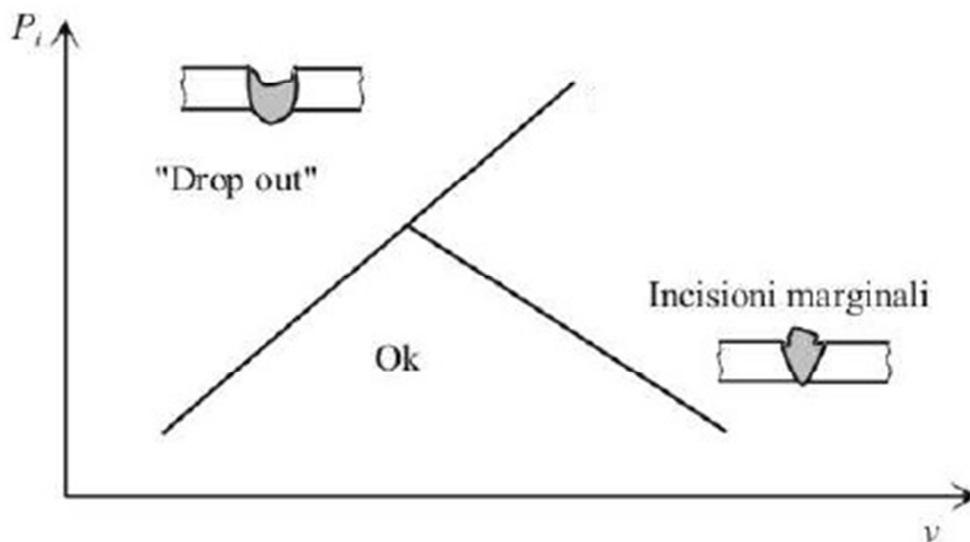


Figura 1-16: Effetti in base alla scelta di P_i e v

Come si evince dal grafico, con riferimento alla Figura 1-17, se si utilizzano elevate potenze e basse velocità, la pozza fusa cade verso il basso a causa della forza di gravità provocando il fenomeno del “drop out” (B). Se invece le velocità sono piuttosto elevate con potenze basse vengono effettuate solo incisioni marginali (C). L’alta potenza legata all’elevata velocità, oltre ad incisioni marginali porterà a porosità. Valori medio bassi di potenza e medi di velocità portano alla formazione di cordoni di saldatura corretti (A).

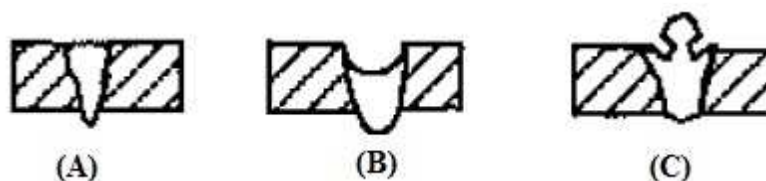


Figura 1-17: Possibili risultati saldatura laser

È necessario citare anche la **BRASATURA** in quanto è uno dei metodi più antichi per l’unione di due pezzi metallici. In Figura 1-18 è possibile vedere i componenti principali di questo processo eterogeneo: una fiamma indotta da una torcia (1) fonde solo la bacchetta di materiale d’apporto (2) mentre le due parti da unire (4) vengono semplicemente scaldate a temperatura inferiore a quella di fusione. Il metallo d’apporto fuso (3) è libero di espandersi sulla superficie del metallo base e di penetrare all’interno del giunto. I vantaggi di questo processo sono legati alle basse deformazioni dei pezzi e alla grande versatilità della scelta di spessori e materiali dei giunti. Questo processo è ampiamente utilizzato dagli artigiani in quanto l’aspetto estetico risulta ottimo e non richiedono operazioni meccaniche di finitura.

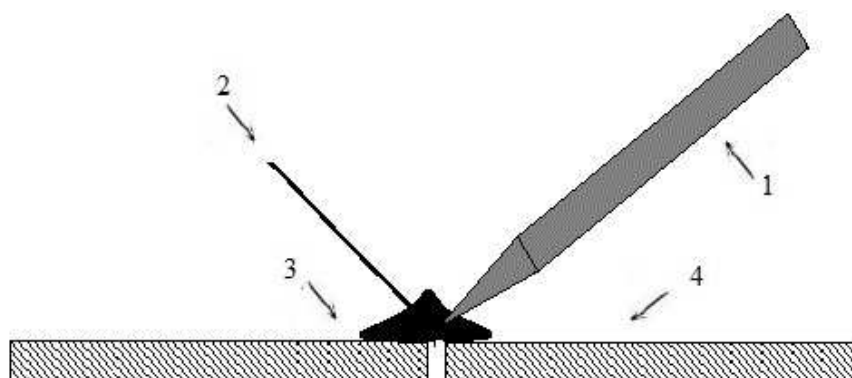


Figura 1-18: Brasatura

In generale i problemi della saldatura sono legati al fatto che, escludendo la brasatura, si possono unire tra loro soltanto componenti di materiale compatibile limitando così la scelta in base, per l'appunto, alla compatibilità e alla possibilità di fondere a diverse temperature. Questa tipologia di collegamento, essendo un processo termico, introduce inevitabili deformazioni che alterano lo stato del pezzo, indebolendolo. Un secondo problema è quello della durata del processo: rispetto agli altri metodi di unione, la saldatura è quello che richiede il tempo maggiore in quanto, come visto precedentemente, una velocità di esecuzione elevata porta a una cattiva saldatura.

Il processo inoltre deve essere fatto a regola d'arte poiché si rischia che una saldatura non corretta possa non resistere con effetti disastrosi a seconda dell'applicazione. Per questi motivi le normative europee impongono che l'addetto alla saldatura sia una persona altamente qualificata e di esperienza. Queste qualità vengono certificate con il rilascio di un patentino di durata biennale in seguito ad un corso: il requisito, logicamente, si traduce in un aumento di costi per le aziende che devono regolarizzare i proprio saldatori.

Come detto in precedenza la saldatura è un metodo di unione permanente: l'unico modo per dividere le due parti è attraverso il taglio. Questo procedimento rende le due parti ancora più fragili.

1.2 Le unioni bullonate

Questo processo prevede l'utilizzo di più componenti di cui solo tre sono realmente necessari e fondamentali per il successo del collegamento:

A- Vite con testa

B- Dado

C- Rosetta

Nel caso di applicazioni particolari o di situazioni in cui è necessaria maggiore sicurezza vengono utilizzati ulteriori componenti come controdadi o rosette elastiche.

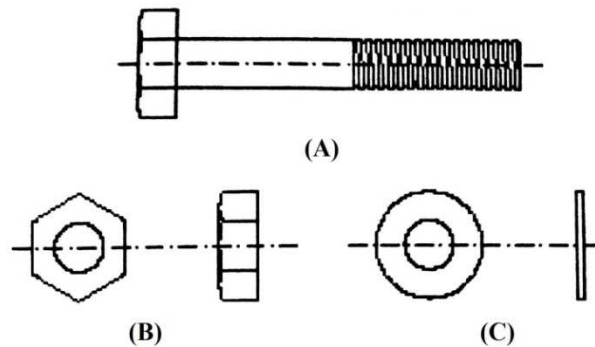


Figura 1-19: Componenti base unione bullonata

L'unione bullonata permette di unire due parti in maniera molto veloce e completamente reversibile senza che queste si rovinino. La progettazione e la scelta del tipo di unione è data dalle azioni che le forze danno sui componenti, infatti si possono classificare in:

- A. Unioni a taglio
- B. Unioni a trazione
- C. Unioni ad attrito

L'unione a taglio avviene nei casi in cui i componenti collegati risultano sollecitati mediante una forza agente nel piano di contatto dei componenti stessi come in Figura 1-20: il bullone risulta attivo quando la superficie laterale del gambo è a contatto con la superficie del foro. Il contatto inizialmente è puntuale quindi si avrà un incremento degli sforzi con una plasticizzazione locale che tende ad ovalizzare il foro.

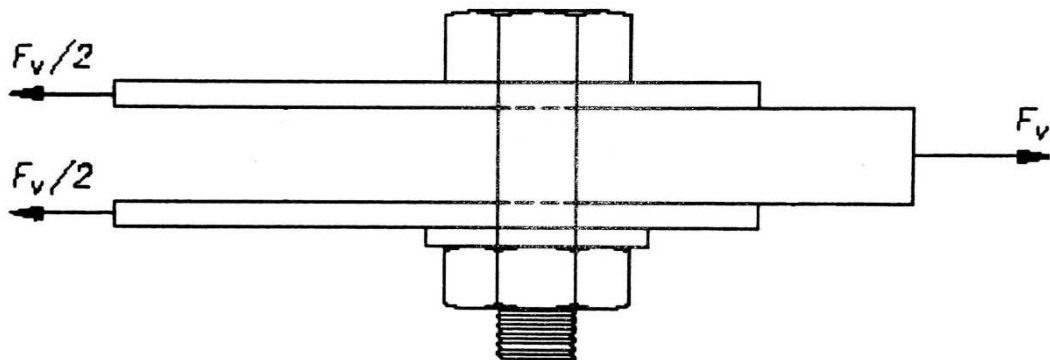


Figura 1-20: Unione a taglio

Nel caso di *unione a trazione* invece i due componenti, che sono collegati tramite bulloni, sono sollecitati da una forza che agisce normalmente al piano di contatto come mostrato in Figura 1-21.

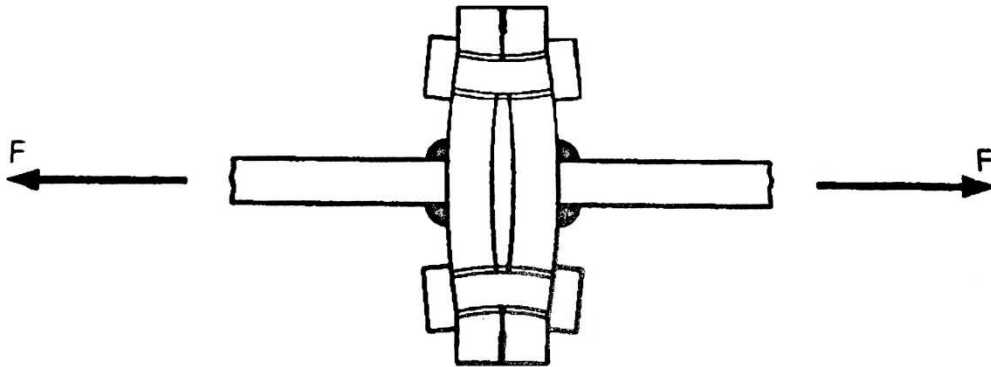


Figura 1-21: Unione a trazione

L'unione bullonata ad attrito, invece, fa sì che le due piastre vengano a contatto e messe in pressione tra loro soltanto grazie al serraggio dei bulloni. In questo caso, come visibile in Figura 1-22, i gambi dei bulloni non vengono mai a contatto con il foro interno delle piastre e la resistenza è data solo dall'attrito che si sviluppa tra i due o più componenti a contatto.

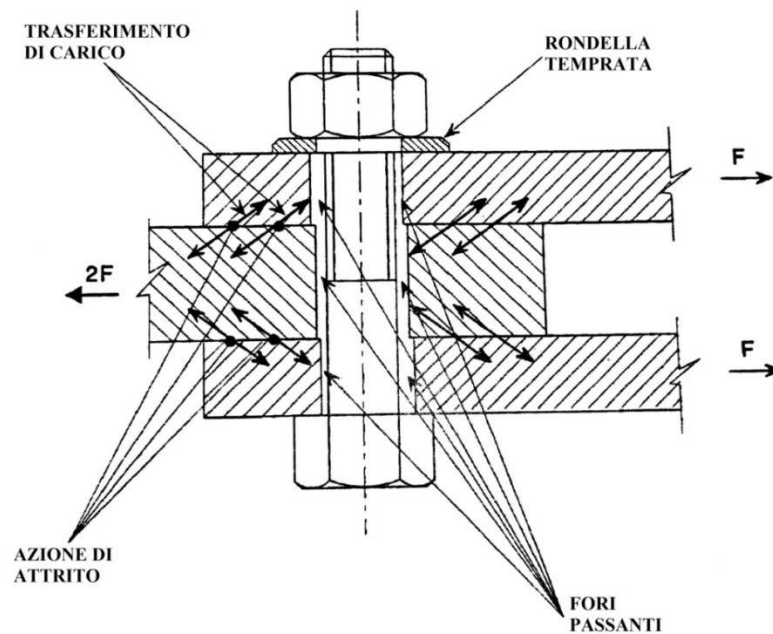


Figura 1-22: Unione ad attrito

A differenza della saldatura questo processo è molto più semplice e non necessita di particolari qualifiche tecniche per l'assemblaggio: è sufficiente serrare il bullone con il giusto momento per completare il collegamento. La velocità di applicazione di questo metodo è sicuramente molto elevata. Le problematiche riscontrabili sono legate all'aumento del numero di componenti: l'ingombro, il peso dato dagli stessi bulloni aumenta, di conseguenza aumenteranno anche i costi.

1.3 L'incollaggio

Questo metodo permette un collegamento di tipo permanente e si ottiene interponendo tra le due superfici da unire un materiale in grado di aderire sulle due parti. Questo componente deve avere determinate caratteristiche per essere funzionale come la fluidità, che permette all'adesivo di distribuirsi lungo le superfici da saldare, o la tenuta.

Inizialmente utilizzati in campi non strutturali come nell'industria automobilistica, delle calzature e dell'imballaggio hanno subito un'espansione in molti altri campi grazie allo studio di nuovi processi chimici. Esistono diversi tipi di incollaggio legati alla posizione relativa tra i pezzi; in alcuni casi è possibile combinare l'incollaggio con altri metodi di unione come la bullonatura.

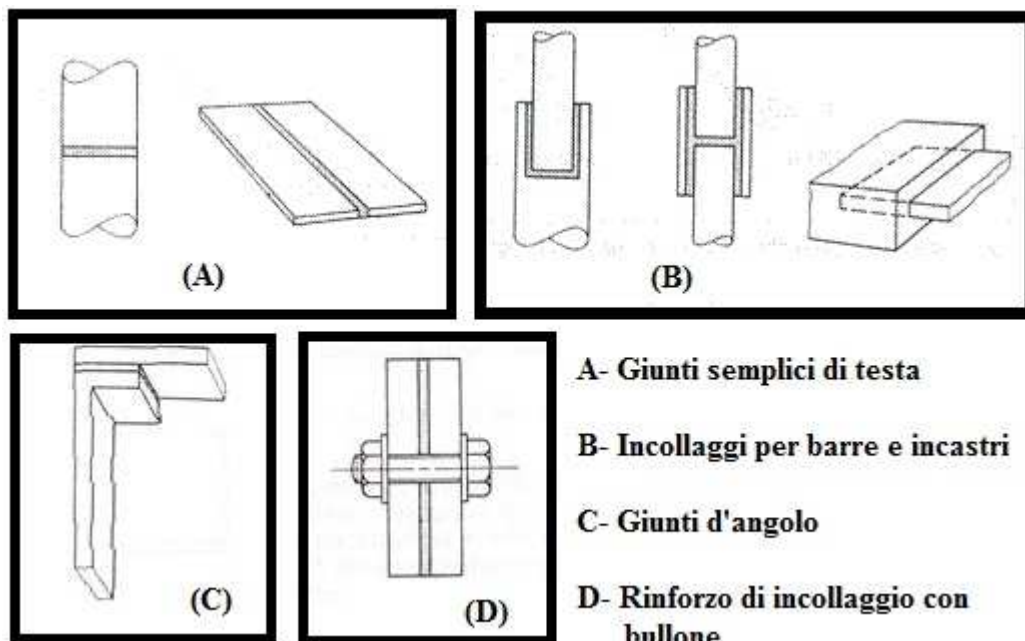


Figura 1-23: Tipologie di Incollaggio

I vantaggi principali legati a questa tecnologia sono il peso altamente ridotto e la possibilità di unire materiali con caratteristiche meccaniche diverse o che non sopportano elevate temperature, quindi suscettibili a processi termici come la saldatura. Spesso oltre a fungere da metodo di unione l'incollaggio si comporta anche da isolante termico, elettrico, acustico e chimico (nel caso di problemi di corrosione galvanica tra pezzi di materiali diversi). Inoltre l'alta capacità di smorzamento degli incollaggi e la bassa rigidità di molti adesivi consentono di assorbire, distribuire o spostare punte di tensione, migliorando così la resistenza a fatica e fornendo buone proprietà di smorzamento delle vibrazioni e di flessibilità.

I problemi principali di questo metodo sono legati alla resistenza ad agenti atmosferici (nel caso di componenti posti non al chiuso) e alla sollecitazione da parte di forze esterne. Solitamente quest'ultimo aspetto, nel caso di utilizzo di materiali plastici, non dà particolari problemi mentre per quelli metallici può essere significativo in quanto le forze in gioco sono notevolmente superiori alle plastiche. In molti casi questo processo è veloce da effettuare ma necessita molto tempo per raggiungere la resistenza ottimale. Spesso gli adesivi sono a base di solventi, condizione che aumenta la tossicità e l'inflammabilità degli stessi elevando il rischio per gli utilizzatori e gli operai addetti al montaggio.

Le strutture incollate non sono facilmente smontabili per la riparazione e sono soggette al fenomeno della pelatura: a causa di forze troppo elevate agenti alle estremità delle parti incollate è possibile che si abbia un distacco dei due componenti. Per evitare questo difetto si ricorre ad alcuni espedienti evidenziati in Figura 1-24.

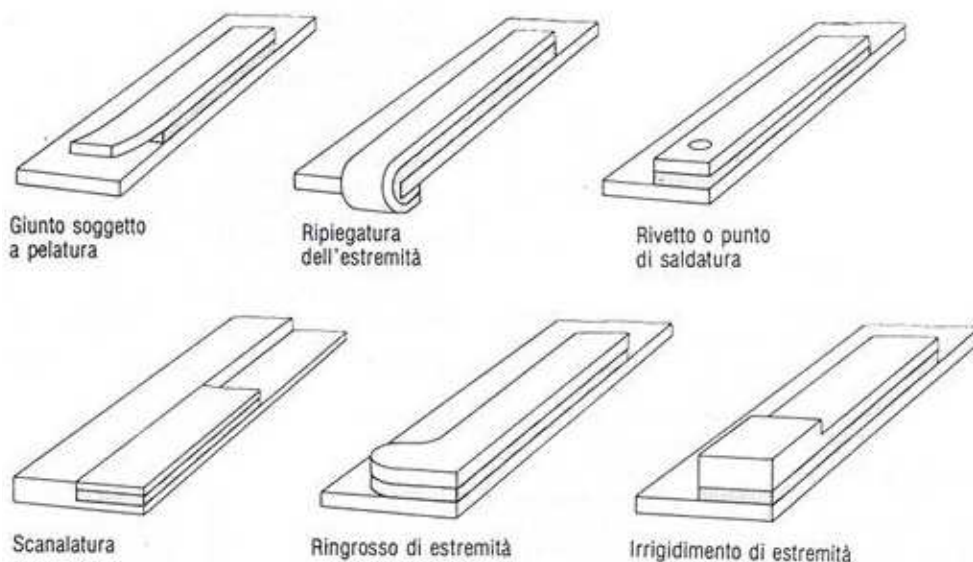


Figura 1-24: Fenomeno della pelatura e possibili soluzioni

1.4 Gli accoppiamenti forzati mozzo-albero

Gli accoppiamenti forzati mozzo-albero sono sicuramente tra i più diffusi nella pratica costruttiva e permettono di trasmettere coppie relativamente elevate senza la necessità di elementi estranei a quelli da accoppiare quali boccole, linguette o chiavette. La trasmissione della coppia avviene tramite l'attrito tra le due superfici a contatto vincolando la rotazione attorno all'asse comune di albero e mozzo, ma anche gli spostamenti relativi radiali e lungo l'asse di rotazione. Il calettamento forzato consiste nell'accoppiamento fra mozzo e albero con diametri diversi che presentano una determinata interferenza.

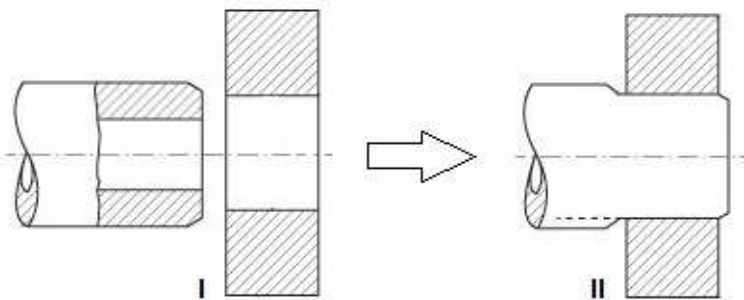


Figura 1-25: Fasi del calettamento forzato

Il calettamento forzato può essere realizzato principalmente in due modi:

- forzamento longitudinale, in cui albero e mozzo vengono accoppiati tramite l'applicazione di una forza alla pressa;
- forzamento trasversale, in cui i diametri di albero, mozzo o entrambi sono modificati per effetto termico, riscaldandoli o raffreddandoli e riportandoli a temperature ambientali successivamente al posizionamento.

Per progettare i corretti parametri si procede in maniera iterativa: dopo aver definito la coppia da trasmettere si decidono materiali e dimensioni. Se gli sforzi sono corretti i componenti sono adatti al forzamento se non lo sono bisogna rimodificare i parametri iniziali.

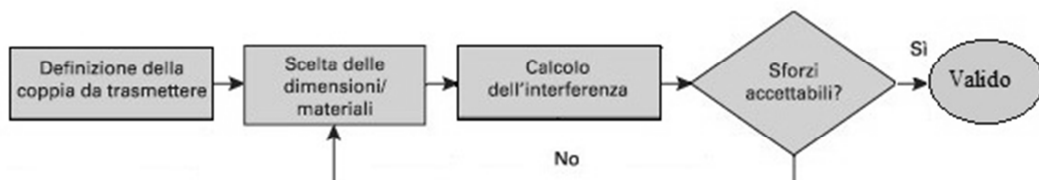


Figura 1-26: Schema logico forzamento mozzo-albero

Nella progettazione di questi accoppiamenti bisogna valutare anche la temperatura di esercizio prevista che potrebbe influire deformando termicamente uno o entrambi i pezzi. Non è indifferente anche il problema del creep che può portare a lungo andare ad un indebolimento dell'unione e ad un successivo distacco dei pezzi.

Essendo un procedimento utilizzato anche per materiali plastici è necessario tener conto del rilassamento dei componenti e della temperatura ancora con maggior attenzione rispetto ai materiali metallici. Anche valori contenuti di temperatura possono modificare lo stato dell'accoppiamento. La progettazione sarà molto più accurata in quanto i legami tra sforzi e deformazioni non sono lineari.

1.5 Gli accoppiamenti a scatto

Il metodo di unione che ha risentito positivamente dell'ampia diffusione dei materiali plastici è sicuramente lo Snap-fit. Il legame tra gli Snap-fit e i materiali plastici è dato dal fatto che i metodi di unione tradizionali (bulloni, saldature, adesivi e calettamento forzato) non sempre si addicevano a questi materiali a causa delle diverse proprietà fisiche. L'economia, la praticità e velocità di montaggio legata ad altre proprietà, tra le quali l'estetica, li hanno visti diffondersi in moltissimi settori. Essendo oggetto della tesi il prossimo capitolo verrà interamente dedicato alla loro descrizione e alle varie tipologie esistenti.

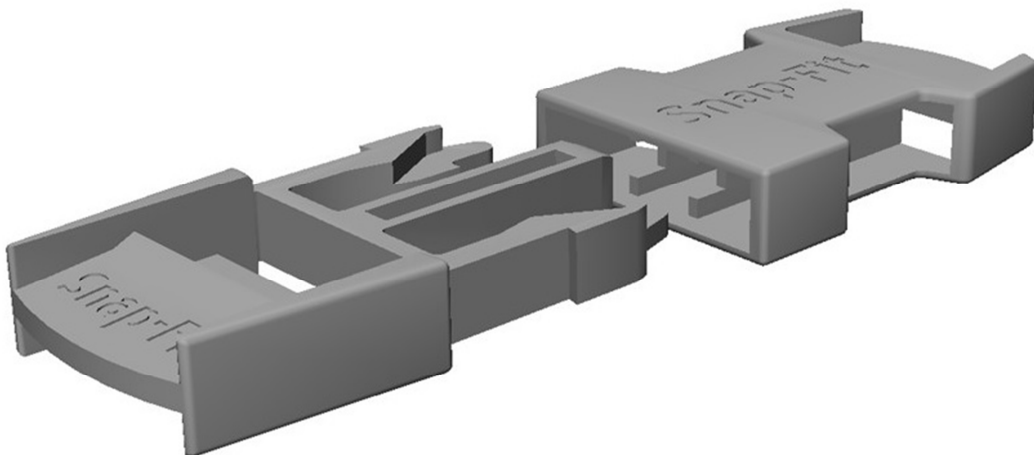


Figura 1-27: Snap-fit plastico

Capitolo 2

Gli Snap-fit

2.1 Introduzione agli Snap-fit

Per definire in maniera semplice gli accoppiamenti a scatto è sufficiente analizzare la traduzione del termine inglese. La parola “*Snap-fit*”, infatti, è composto da due verbi: to snap (= chiudere con un clic) e to fit (= adattarsi perfettamente). Lo Snap-fit è quindi un metodo per chiudere una parte con uno scatto, un clic, adattandosi perfettamente ad essa.

La definizione più accurata e comune è la seguente:

“Uno Snap-fit è un meccanismo di bloccaggio integrale per unire una parte ad un'altra. Sono comunemente associati a parti in plastica ma possono essere utilizzati anche con materiali metallici.

Lo snap-fit, o accoppiamento a scatto, è diverso dai metodi di fissaggio con bulloneria e chimici in quanto non richiede ulteriori pezzi, materiali o strumenti per svolgere la funzione di fissaggio oltre ai due componenti da unire”.

La persona che ha dato maggior contributo allo studio in questo campo è stato senza dubbio Paul R. Bonenberger, ingegnere meccanico con un'esperienza trentennale nel campo degli accoppiamenti meccanici. Egli ha definito e catalogato, attraverso i suoi due manuali sugli snap-fit, i possibili tipi di accoppiamento a scatto e le regole per una buona progettazione degli stessi. Queste regole fino a quel momento non erano scritte su nessun testo e rimanevano all'interno della conoscenza tacita dei progettisti. Bonenberger ha fornito inoltre alcune definizioni fondamentali nella progettazione di sistemi d'incastro integrati per facilitare la comunicazione tra progettista ed ingegneri, proponendo anche un elenco di passi per vincolare un dato insieme di parti in un assieme basato su dati di progetto.

Più tardi Luscher, che in passato aveva lavorato con Bonenberger, assieme ai suoi collaboratori raggruppò le regole essenziali in cinque categorie basate su problematiche affrontate, tra le quali:

- Le questioni relative al montaggio e gradi di libertà
- Problemi di allineamento
- Problemi di tolleranza
- Trade-off su considerazioni o problemi (situazione che implica una scelta tra due o più possibilità, in cui la perdita di valore di una costituisce un aumento di valore in un'altra)
- Questioni relative agli elementi intrinseci.

Luscher creò 22 regole di progettazione in modo da aiutare il progettista a realizzare una strategia ragionevole per il fissaggio di parti negli assiemi e migliorare i progetti.

Lo Snap-fit è il metodo unione più semplice ed economico per collegare due pezzi in quanto non richiede l'utilizzo di parte aggiuntive. Il termine "accoppiamenti integrati" deriva dalla peculiarità di questi collegamenti che presentano il pezzo di unione, per l'appunto, integrato con gli elementi stessi da collegare.

Prevalentemente utilizzato per l'assemblaggio di componenti di plastica, viene anche utilizzato in campo metallico. I primi usi degli Snap-fit sono imputabili in campo di lavorazioni con metalli preziosi: catenine, bracciali e oggetti di bigiotteria presentano chiusure con accoppiamenti a scatto. In Figura 2-1 si può vedere un esempio: l'orecchino composto da gemma e struttura Snap-fit viene montato (I) imponendo un carico sulla struttura. L'opposizione della gemma farà in modo che i bracci Snap-fit si flettano elasticamente fino ad abbracciare completamente la pietra preziosa. Il collegamento è saldo e i due pezzi diventano un unico oggetto (II).

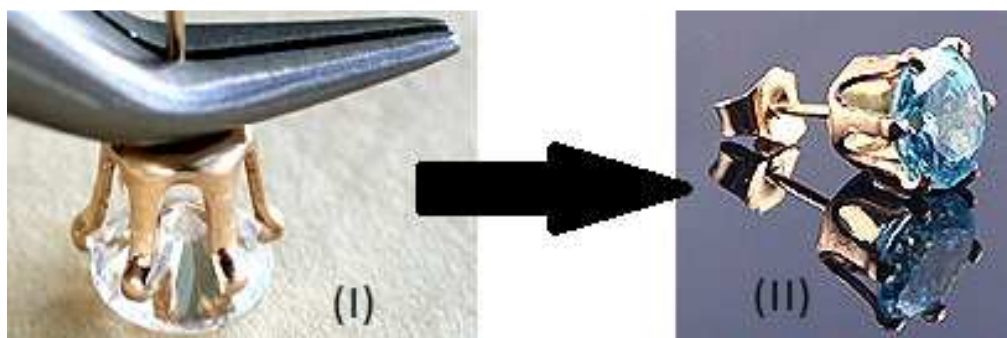


Figura 2-1: Orecchino Snap-fit

La diffusione di questo metodo è stata rapida: le chiusure degli zaini e marsupi (Figura 2-2B), molti componenti dei giocattoli, parti di veicoli, oggetti elettronici (Figura 2-2A) o di uso comune (Figura 2-2C/D) presentano molti Snap-fit. Spesso si ignora la presenza di questi metodi di accoppiamento proprio per la scarsa informazione a riguardo visto le basse pubblicazioni sull'argomento. I motivi di questa disinformazione sono dati dalla mancanza di modelli standard, la scarsa condivisione della conoscenza acquisita con l'esperienza e una bassa familiarità con le materie plastiche rispetto a quelle metalliche.

Non esistono modelli standard di Snap-fit in quanto la conoscenza esperienziale e i risultati sperimentali sono fortemente legati al prodotto, spesso infatti sono creati ad hoc per il manufatto in produzione dall'azienda. Quindi rendere pubblico uno studio riguardo un particolare tipo di accoppiamento a scatto è come rivelare le proprie strategie oppure il prodotto e l'innovazione ad esso legato.

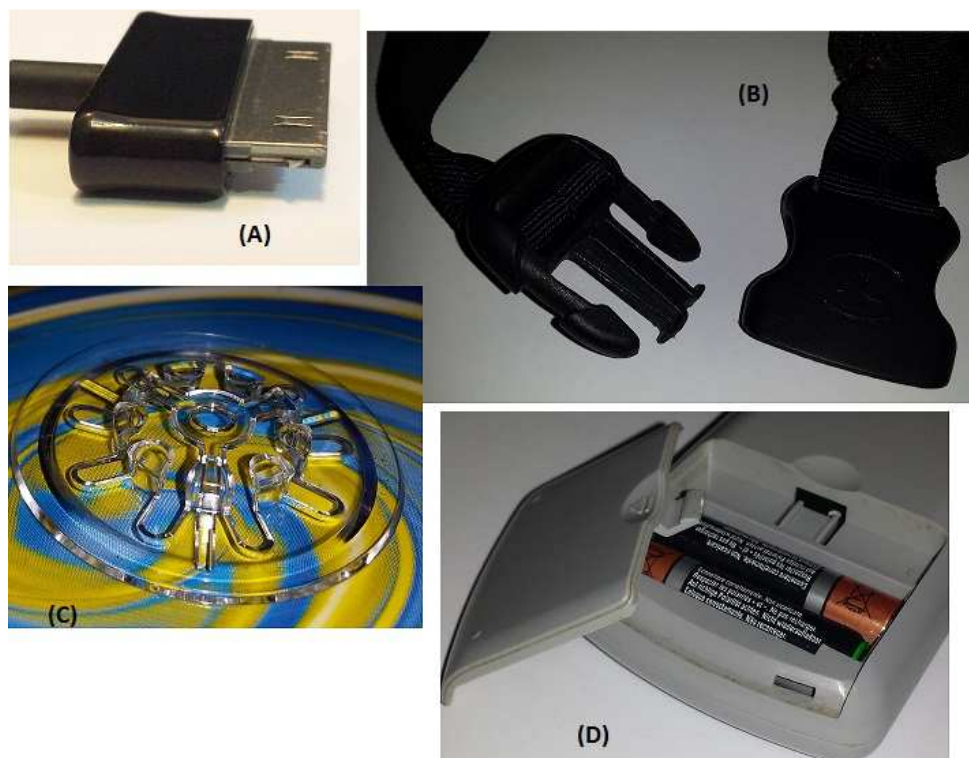


Figura 2-2: Esempi di Snap-fit nella vita comune

I motivi per cui è necessario uno studio maggiore di questo metodo di collegamento sono legati ai numerosi vantaggi che forniscono rispetto ad altri collegamenti:

- L'intuitività e la semplicità di utilizzo permettono l'esecuzione dell'assemblaggio anche da parte di operatori non qualificati.
- Riduzione della velocità di assemblaggio.
- Riduzione del numero di pezzi utilizzati.
- Assemblaggio senza l'ausilio di attrezzi esterni o di elementi quali viti, dadi o rivetti.
- Il posizionamento avviene contemporaneamente alla connessione tra le parti.
- Connessione tra i pezzi reversibile o meno a seconda delle scelte iniziali dei parametri
- Grande libertà di scelta da parte del progettista, che potrà scegliere lo Snap-fit più adatto all'esigenze dettate dal prodotto finale.

Come già detto esistono diversi tipi di Snap-fit, tra cui scegliere in base all'applicazione di utilizzo. In maniera generale si ha sempre «*la giunzione tra due parti grazie a elementi di posizionamento, locating feature, e bloccaggio, locking feature (Figura 2-3) appartenenti a uno dei due componenti. L'assemblaggio richiede che gli elementi di bloccaggio, flessibili, si deformino per permettere il vicendevole impegno delle parti e che essi tornino poi nella posizione originaria generando l'interferenza necessaria per mantenere uniti i componenti. Le locating feature sono invece indeformabili e forniscono solidità e stabilità alla giunzione*» ([1] Bonenberger 2005)

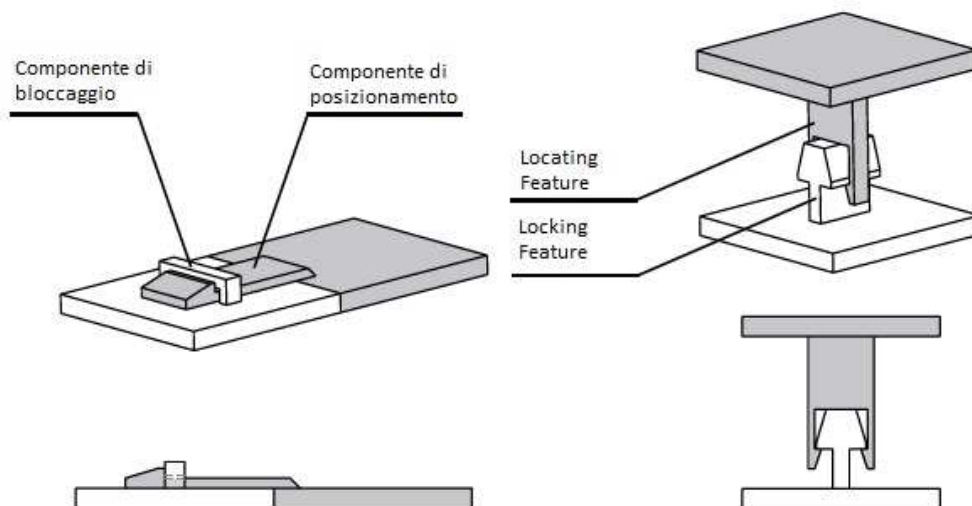


Figura 2-3: Elementi di uno Snap-fit

Schematicamente seguono tutti il principio uncino/sede che verrà illustrato in Figura 2-4. L'elemento sporgente ha una configurazione geometrica tale che, se fatto scivolare relativamente alla sede di accoppiamento (I), si deforma elasticamente (II). Il movimento relativo continua fino a che l'uncino ritorna nella posizione originale (cioè quando non si presenta più l'ostacolo della sede) incastrandosi, in base ai parametri di progettazione, in maniera permanente o temporaneamente (III) concludendo così il montaggio.

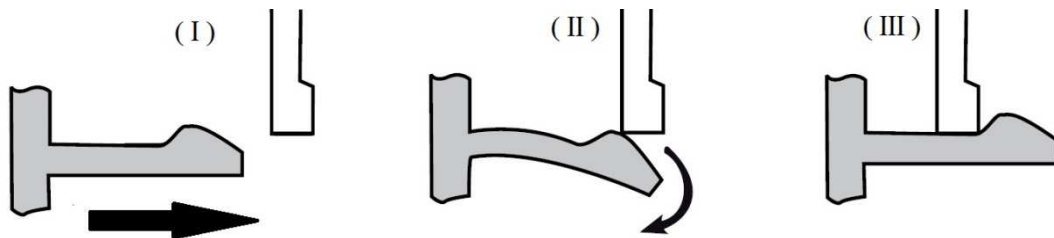


Figura 2-4: Montaggio Snap-fit

2.2 Le tipologie Snap-fit

Esiste una vastissima gamma di Snap-fit soprattutto in ambito plastico. In seguito si riportano i più utilizzati.

1. *Uncino a sbalzo (cantilever hook)*

Questo è lo Snap-fit maggiormente conosciuto ed utilizzato. Si basa sul principio della trave a sbalzo: il segmento vincolato ad un'estremità presenta sull'altra un sottosquadro che blocca lo scorrimento del pezzo. I collegamenti generati saranno di tipo reversibile o irreversibile a seconda dei parametri di controllo scelti, come si vedrà più avanti saranno principalmente gli angoli d'inserimento e di disimpegno (α e β) e il coefficiente μ d'attrito tra i due pezzi.

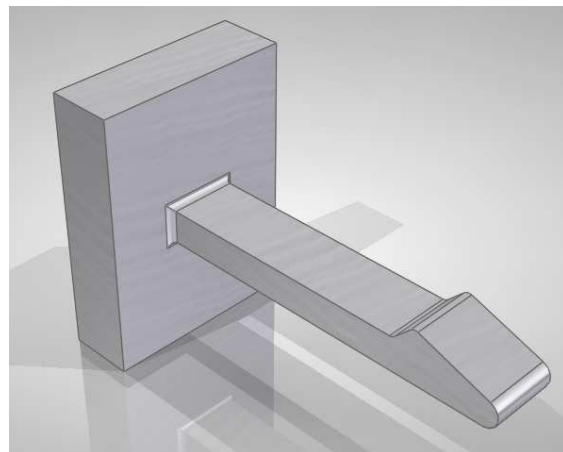


Figura 2-5: Cantilever hook

II. *Uncino ad L*

Questa tipologia è la variazione dell'uncino a sbalzo che sfrutta l'inflessione di una porzione di componente a cui tale elemento è collegato. È molto utile per spazi ridotti in cui è necessario utilizzare uno Snap-fit con sottosquadro maggiore.



Figura 2-6: Uncino ad L

III. *Loop Hook (o lock-loop)*

Questo sistema di connessione integrato può essere utilizzato in maniera duplice: l'uncino si flette per andare all'interno della sede come gli Snap-fit classici oppure è la sede stessa a flettersi "abbracciando" l'uncino. Solitamente è progettato per vincolare il grado di libertà traslazionale ma fornisce anche una discreta resistenza alle rotazioni relative delle parti. Presentano un'elevata resistenza meccanica.

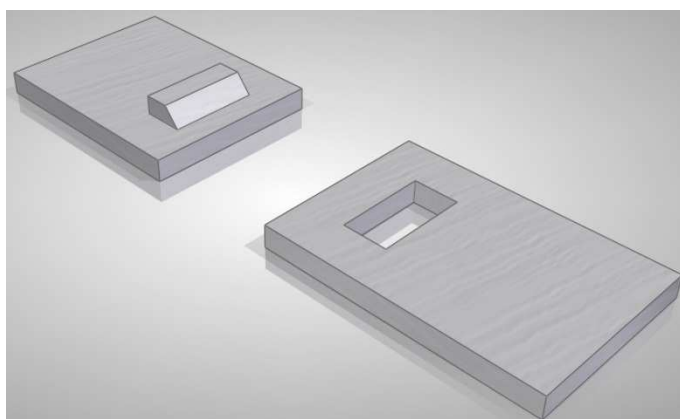
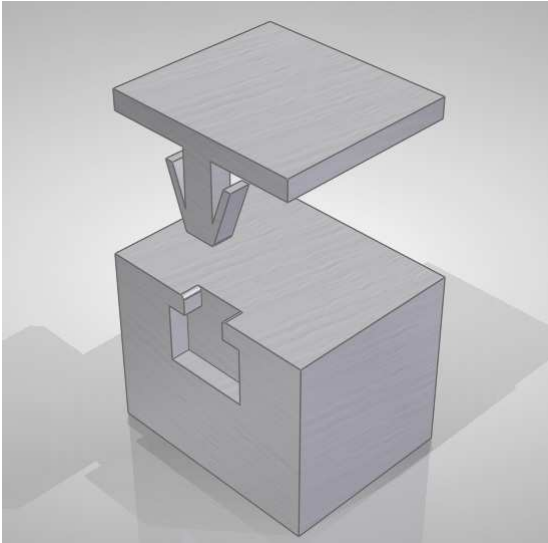


Figura 2-7: Loop Hook

IV. *Trap Locks*



Sono dei particolari tipi di Snap-fit con elementi che nell'operazione di disaccoppiamento lavorano a compressione. Solitamente si usano per collegamenti permanenti in cui si chiede la rottura di alcuni elementi per separare le parti.

Figura 2-8: Trap Lock

V. *Bayonet and finger e Post and dome*

Queste due tipologie sono una modifica della tipologia Trap lock: in questo caso l'uncino a sbalzo non è progettato per flettersi. Nel caso di *bayonet and finger* si hanno delle dimensioni notevoli che portano ad una minore resistenza a flessione; la forza necessaria per eseguire l'accoppiamento sarà sicuramente ridotta.

La configurazione *post and dome* è un'evoluzione tridimensionale del bayonet and finger.

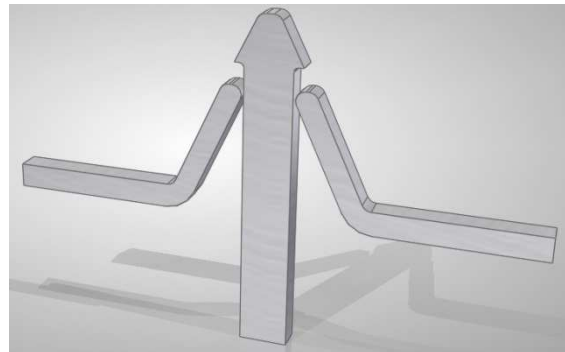


Figura 2-9: Bayonet and finger

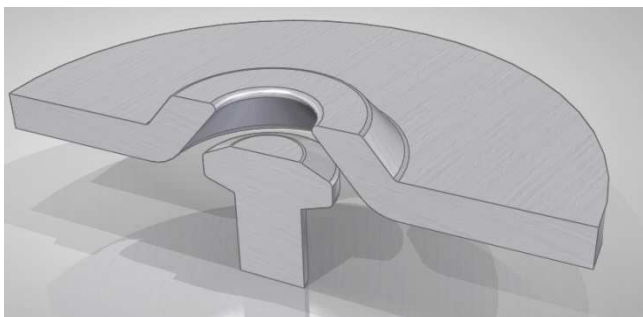


Figura 2-10: Post and dome

VI. *Snap-fit anulare*

Particolare tipologia utilizzata per connettere tra loro parti cilindriche. Consiste in una variazione dei diametri che permettono di inserire l'estremità di un pezzo nell'altro. In alcuni casi (mancanza di dettagli mobili o intagli che facilitano la deformazione del pezzo) è necessario apportare delle modifiche creando così un

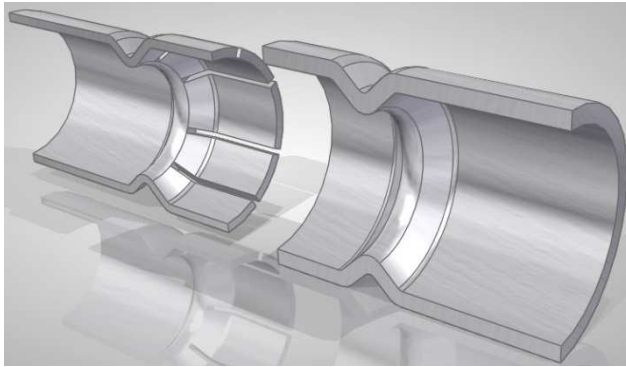
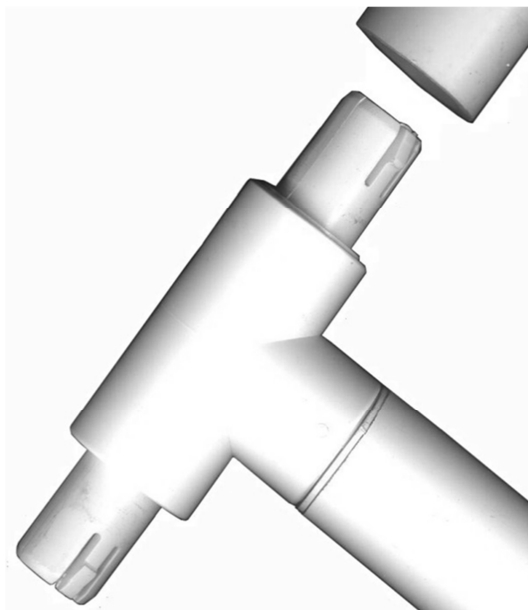


Figura 2-11: Snap-fit anulare

Press-fit, cioè un sistema di connessione che non prevede il ritorno dei componenti alla posizione originaria.

Una volta assemblati una delle due parti rimane deformata premendo sull'altro sfruttando così l'attrito per rimanere uniti.

Gli Snap-fit di tipo plastico verranno prodotti contemporaneamente alla fabbricazione di tutta la parte con un semplice stampaggio ad iniezione.



L'espansione nel campo strutturale degli accoppiamenti a scatto plastici non è molto sviluppata. La scelta risulta molto limitata in quanto i carichi, che solitamente vengono applicati alle strutture, sono notevoli: gli Snap-fit vengono così utilizzati per il collegamento e il sostegno di tubazioni a cui vengono applicate forze relativamente basse.

Figura 2-12: Collegamento Snap-fit per tubazione

2.3 Gli Snap-fit metallici

La soluzione più ovvia ai problemi di resistenza meccanica al carico sarebbe quella di utilizzare al posto della plastica i materiali metallici, quali acciai e leghe di alluminio. Il motivo della scarsissima diffusione di queste tipologie di Snap-fit è legata principalmente a motivazioni legate a:

- Fattibilità progettuale
- Fattibilità tecnologica

La problematica progettuale si riferisce alla caratteristica principale degli Snap-fit: la capacità di flettersi sotto un determinato carico e tornare in posizione iniziale senza deformazioni permanenti.

In caso di utilizzo di materiali metallici si avranno moduli elastici molto più elevati rispetto alle plastiche:

$$E_{plastiche} = 1.4 \div 3.4 \text{ GPa}$$

$$E_{alluminio} = 69 \text{ GPa}$$

$$E_{acciaio} = 206 \text{ GPa}$$

Come si può vedere, le plastiche hanno un modulo di Young circa 35 volte inferiore all'alluminio e circa 100 volte inferiore agli acciai; questo comporta una minore flessibilità a parità di carico.

Per avere risultati simili, cioè frecce contenute applicando carichi relativamente bassi, si avranno due possibilità:

- Aumentare la lunghezza libera di inflessione dell'uncino
- Diminuire gli spessori

La prima soluzione permette di avere Snap-fit con spessore accettabile e quindi di resistere al carico applicato, ma causano problemi di ingombro e di peso. La seconda soluzione invece permette di avere dimensioni minori (e quindi anche peso minore) ma causa problemi di resistenza, in quanto piccoli spessori non resistono a carichi eccessivi.

I livelli di tolleranza e di dettaglio richiesti dagli accoppiamenti a scatto riducono notevolmente la scelta dei processi che si possono utilizzare. Mentre per le plastiche è sufficiente stampare tramite iniezione, per quanto riguarda i metalli la scelta dei processi di produzione non è così semplice: solitamente sono molto onerosi e complicati se si vogliono ottenere spessori e componenti a sbalzo dell'ordine del millimetro. Idealmente è possibile utilizzare tecnologie in campo dell'asportazione di truciolo, dello stampaggio, della fusione e del taglio. Tra i processi di asportazione da truciolo, l'unica lavorazione adeguata sarebbe la *microfresatura* che però non offre prestazioni elevate per quanto riguarda la produttività. La *microfusione* e lo *stampaggio* sono due processi ottimi per pezzi piccoli ma economicamente vantaggiosi per elevati volumi di produzione. I processi di taglio che potrebbero essere adatti a queste applicazioni sono *taglio ad acqua*, *taglio plasma* e *taglio laser*. La migliore produttività è data senza dubbio dall'ultimo processo che nel corso degli anni sta facendo sempre più passi avanti anche su materiali che darebbero problemi come l'alluminio. Un ultimo processo che potrebbe essere utilizzato è la *piegatura* delle lamiere: come si vedrà nel corso della tesi anche una profilo opportunamente piegato può comportarsi come uno Snap-fit ad uncino.

Queste motivazioni tecnologiche sono strettamente legate a svantaggi di tipo economico, motivo per il quale l'utilizzo di Snap-fit non è economicamente vantaggioso rispetto a metodi meno pratici e veloci quali saldatura e bullonatura.

In commercio sono presenti delle alternative agli Snap-fit veri e propri. In alcuni casi il ritorno elastico nella posizione originale è dato da una molla. In Figura 2-13 ne è rappresentato un esempio: i montanti dei gazebo presentano una barretta piegata collegata ad una molla. Durante l'assemblaggio si flettono ed una volta montati l'elemento elastico li riporta in posizione fissando la struttura.



Figura 2-13: Particolare costruttivo "Snap-fit" Gazebo

Un'alternativa utilizzata da alcune ditte è quella di combinare i materiali metallici e plastici: nella Figura 2-14 è possibile vedere un'applicazione di questo utilizzo "misto". Una barra in alluminio viene opportunamente trafilata in modo da creare la sede per lo Snap-fit, una maschera in plastica con degli uncini viene poi accoppiata per tenere in posizione e fissi dei pannelli in P.V.C. per il tetto (Figura 2-15).

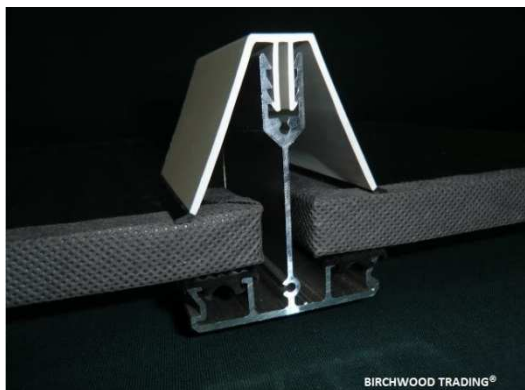


Figura 2-14: Particolare applicazione Snap-fit bloccaggio pannelli

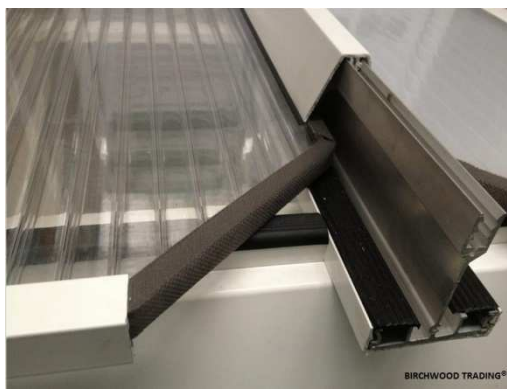


Figura 2-15: Applicazione Snap-fit bloccaggio pannelli

2.4 La progettazione Snap-fit

In questo paragrafo saranno analizzati i metodi e i parametri per la progettazione di un accoppiamento a scatto integrato.

2.4.1 I requisiti chiave del Sistema Snap-fit

Gran parte delle regole fondamentali per la progettazione degli accoppiamenti a scatto integrati è stata data dai due manuali scritti da Paul R. Bonenberg. In particolare nella seconda edizione del suo “The First Snap-Fit Handbook” l’autore definisce le caratteristiche che devono avere gli Snap-fit per essere considerati corretti dal punto di vista progettuale.

Queste caratteristiche sono quattro e sono chiamate “requisiti chiave”:

- La resistenza;
- Il grado di vincolo;
- La compatibilità;
- La robustezza.

Oltre ad essere le qualità che un accoppiamento a scatto integrato deve possedere, i quattro requisiti chiave definiscono anche il dominio entro il quale l’intera tecnologia Snap-fit agisce. La durata e la praticità di assemblaggio non possono essere soddisfatte se questi obiettivi non vengono raggiunti.

I quattro requisiti chiave concorrono alla definizione dell’affidabilità e della durabilità necessaria del collegamento. Per affidabilità si intende la probabilità che l’elemento possa eseguire una funzione richiesta in condizioni d’uso ben definite e per un dato intervallo di tempo.

Nei prossimi paragrafi verranno definiti in dettaglio queste quattro caratteristiche chiave.

1. Resistenza

È allo stesso tempo la caratteristica che agisce sugli elementi di incastro durante la fase di montaggio e la capacità di entrambi gli elementi di garantire l'integrità del sistema di accoppiamento durante tutta la vita del prodotto. Per integrità di sistema si intende che le due parti non si muovano, non si rompano o non creino rumore durante il funzionamento. Come in tutti i metodi di unione, la resistenza del collegamento durante la vita del pezzo (cioè la forza di tenuta) è il requisito più importante: il progettista vuole che i pezzi siano abbastanza forti per sopportare i carichi sviluppati durante tutte le fasi della vita, dal montaggio al funzionamento, dallo smontaggio al rimontaggio (per i collegamenti che prevedono il riutilizzo). A prima vista potrebbe sembrare che la resistenza sia l'unico requisito per aumentare l'affidabilità: un collegamento resistente terrà insieme le parti del prodotto senza guasti. Ma cosa succede se il collegamento non è correttamente assemblato? E se il collegamento non è usato e mantenuto in modo che la resistenza non venga meno? L'affidabilità come detto in precedenza è garantita quando la resistenza, requisito a questo punto fondamentale ma non sufficiente, è completata dagli altre tre requisiti chiave.

La resistenza diventa quindi un potenziale che può essere raggiunto solo se le altre tre caratteristiche sono soddisfatte.

2. Gradi di Vincolo (G.d.V.)

I gradi di vincolo prevengono e controllano il movimento tra le parti. Questo requisito chiave è molto importante poiché dalla scelta corretta di questo parametro dipende il successo del sistema Snap-fit. La parte mobile è un oggetto con i 12 gradi di libertà (6 di traslazione e 6 di rotazione) lungo e attorno gli assi cartesiani: la funzione del blocco sarà quindi quella di limitare i movimenti nell'accoppiamento da parte del componente mobile.

Nelle giunzioni fisse non è consentito alcun movimento relativo tra le parti, quindi la parte base dovrà vincolare tutti i 12 gradi di libertà, nel caso di giunzioni che richiedano movimento relativo invece il blocco dovrà avvenire solo nelle direzioni

che non prevedono movimento. Questo concetto è spiegato in maniera più chiara nell'esempio in Figura 2-17. Nel caso (I) la mascherina dell'interruttore presenta degli Snap-fit che devono tenerla fissa all'interruttore stesso quindi vincoleranno tutti e 12 i gradi di libertà. Nel caso (II) è necessario che lo Snap-fit permetta la rotazione dell'albero delle ruote della macchinina giocattolo quindi vincolerà tutti i gradi di libertà eccetto quello di rotazione attorno all'asse.

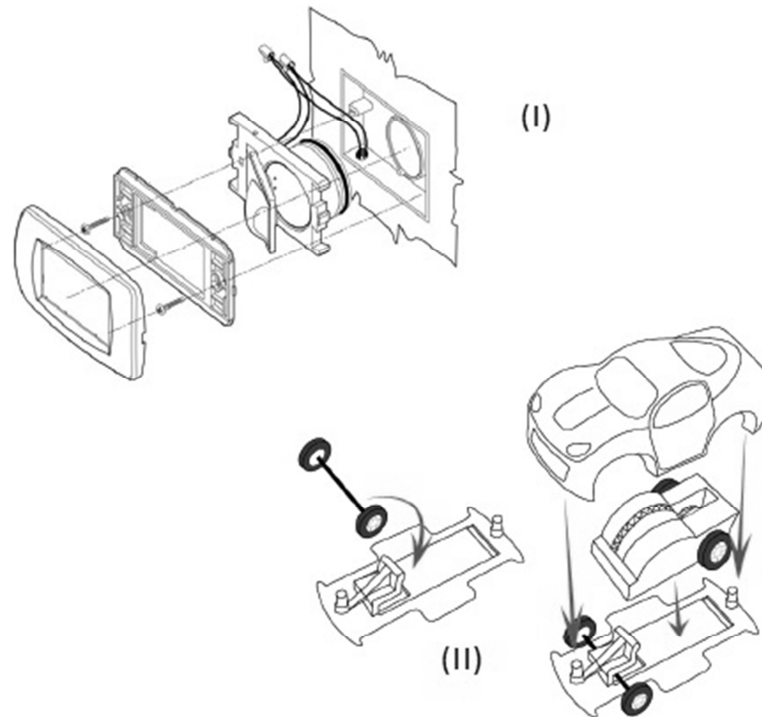


Figura 2-16: Caso di vincolo completo (I) e di vincolo parziale (II)

La struttura Snap-fit potrà quindi essere correttamente vincolata se i vincoli sono esatti con quelli richiesti dall'applicazione, ipo-vincolata se i vincoli sono inferiori al necessario ed iper-vincolata se i vincoli sono eccessivi.

A seconda della condizione possono insorgere alcuni problemi che verranno visualizzati in tabella.

Effetto su	<u>Condizioni di vincolo dello Snap-fit</u>		
	Vincolo corretto	Ipo-vincolato	Iper-vincolato
<u>Rumore</u>	Permette una stretta unione tra le parti	Parti disallineate, eventuali cigolii e ticchettii	Nessun effetto
<u>Assemblaggio</u>	Unione delle parti senza interferenze	Nessun effetto	Assemblaggio complicato a causa dell'interferenza tra le parti
<u>Costo</u>	Consente tolleranze normali o allentate di risparmio	Nessun effetto	Richieste tolleranze molto ristrette
<u>Analisi</u>	Possibile effettuare un'analisi dei componenti	Nessun effetto	Il sistema è staticamente indeterminato
<u>Affidabilità</u>	Supporta la Resistenza per aumentare l'affidabilità	Un carico di bloccaggio improprio può portare al guasto	Possibile guasto dato dalla deformazione residua tra le parti. Possibile distorsione della parte se sono presenti temperature eccessive

Tabella 2-1: Confronto tra Snap-fit correttamente vincolati, ipo-vincolati ed iper-vincolati

3. Compatibilità

Questo requisito chiave indica la coerenza nella scelta degli elementi di giunzione. È il risultato della scelta del movimento di assemblaggio e della direzione di ingaggio rispetto alla morfologia totale delle parti: bisogna valutare l'intero sistema verificando se il montaggio e lo smontaggio delle parti siano fattibili senza incorrere in danni al pezzo, poiché una scorretta combinazione può portare a difficoltà nel montaggio e a danni ai vari componenti.

Nell'esempio in Figura 2-17 il componente viene montato sulla base (A) attraverso un semplice movimento di spinta (B), gli Snap-fit si fletteranno per permettere il bloccaggio dei due componenti (C). Il disassemblaggio (D) richiede un movimento diverso da quello utilizzato per il montaggio: gli Snap-fit sono stati progettati male (in quanto il progettista ha pensato solo alla fase di montaggio) e quindi si avrà una flessione eccessiva dell'uncino di sinistra provocando quasi sicuramente la sua rottura.

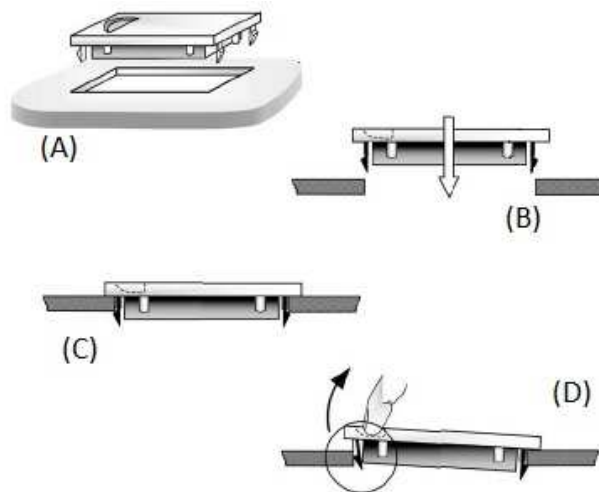


Figura 2-17: Esempio di errata compatibilità

Per evitare problemi di compatibilità sono state definite quattro regole:

- Tutte le caratteristiche fisiche dell'interfaccia devono essere compatibili col movimento di assemblaggio;
- Il movimento di assemblaggio deve essere compatibile con le forme base (le forme base verranno definite nel paragrafo successivo)
- Il movimento di assemblaggio e disassemblaggio devono coincidere;
- Rispettare l'ingombro degli elementi durante tutta la fase di montaggio e di smontaggio.

4. Robustezza

Questo requisito chiave è definito come la tolleranza a tutte le variabili e le incognite che esistono in fase di progettazione, fabbricazione, montaggio ed uso. Tra le incognite possiamo trovare:

- l'abilità da parte dell'utilizzatore di capire come usare lo Snap-fit
- la capacità di smontare e rimontare lo Snap-fit senza danneggiarlo da parte dell'operatore
- le condizioni di carico o ambientali nelle quali le parti sono assemblate
- la possibilità di utilizzi scorretti o carichi inaspettati

Si evince dalla descrizione dei quattro requisiti che sono tutti e quattro fondamentali e che la carenza di uno di questi aspetti può portare al guasto dell'intero sistema Snap-fit.

2.4.2 Scelta del Sistema Snap-fit

Per la progettazione degli snap-fit metallici si fa affidamento alle regole di tipo matematico e di tipo qualitativo definite per quelli in plastica. Il secondo tipo si basa molto sull'esperienza del progettista e la sua capacità di "leggere" il contesto in cui andrà ad operare il sistema Snap-fit.

I metodi più importanti sono i seguenti:

- Forze assemblaggio/smontaggio (numerico)
- Efficienza dimensionale (numerico)
- Funzione (qualitativo)
- Forma base (qualitativo)
- Dinamica dello Snap-fit (qualitativo)

Questi metodi dovrebbero essere combinati l'uno con l'altro per definire nel modo più accurato possibile il sistema in esame.

1. Forze di assemblaggio/smontaggio

Con questo metodo è necessario distinguere e valutare le forze di assemblaggio e quelle di smontaggio. La prima appunto è quella utilizzata per unire i due pezzi mentre la seconda servirà per disaccoppiarli. Solitamente è necessario progettare in funzione della forza di sbloccaggio minimizzando il suo valore o facendolo arrivare ad una soglia minima in quanto spesso si vuole che lo snap-fit non si apra rimanendo nella posizione di assemblaggio.

Il parametro utilizzato per descrivere questo tipo di classificazione è il Locking Ratio (LR) definito:

$$LR = \frac{F_{smontaggio}}{F_{assemblaggio}}$$

Il valore LR può essere visto come un rendimento in quanto è un rapporto tra un effetto ottenuto, cioè la solidità dell'incastro valutata come la resistenza che l'accoppiamento ha nei confronti della forza di sbloccaggio, e le risorse utilizzate per ottenerlo, cioè la forza per incastrare le due parti.

Questo rendimento è fortemente legato al tipo di snap-fit scelto. Spesso può accadere che ad un incremento della forza di smontaggio corrisponda una diminuzione del valore di LR. Questo effetto avviene poiché è molto probabile che un sistema Snap-fit difficile da smontare abbia bisogno di un carico maggiore per il montaggio.

2. Efficienza dimensionale

Con questo metodo è necessario valutare due parametri legati alla forza di smontaggio e alle dimensioni dello Snap-fit: la forza di smontaggio volumetrica, $F_{smontaggio}^v$, e la forza di smontaggio dimensionale, $F_{smontaggio}^d$.

$$F_{smontaggio}^v = \frac{F_{smontaggio}}{V}$$

dove V è il volume dell'elemento di bloccaggio

$$F_{smontaggio}^d = \frac{F_{smontaggio}}{DC}$$

dove DC è la dimensione caratteristica (solitamente corrispondente alla lunghezza dello snap-fit in direzione normale all'interfaccia tra le parti).

Più elevato è il valore di $F_{smontaggio}^v$ ed $F_{smontaggio}^d$ maggiore sarà l'efficienza del collegamento integrato. Mantenendo costante la forza è spesso preferibile avere piccoli volumi oppure piccole dimensioni soprattutto nel campo di dispositivi elettronici o in minuteria dove le dimensioni devono essere necessariamente molto ridotte.

3. Funzione

Probabilmente uno dei metodi qualitativi più importanti in quanto si valuta la scelta dello Snap-fit in base alla funzione a cui è destinato. La funzione è descritta in quattro termini: azione, tipo di incastro, ritenzione e tipo di bloccaggio

I. Azione

Esprime il movimento potenziale dello Snap-fit durante la sua progettazione e verrà distinto in FISSO e AMOVIBILE.

- Se lo snap-fit è **fisso** non si ha movimento relativo tra le parti dopo che queste siano state bloccate assieme.
- Se lo snap-fit è **amovibile** può esserci un movimento relativo tra i componenti quando sono impegnati. I componenti non sono mai completamente separati durante questo movimento.

II. Tipo di incastro

In questo caso lo snap-fit può essere TEMPORANEO o FINALE

- Se lo snap-fit è **temporaneo** significa che il collegamento tra le parti serve solamente per unirle in attesa che un secondo collegamento blocchi le parti. Viene utilizzato soprattutto per i componenti che necessitano di collegamenti più robusti oppure per migliorare i processi di unione finale riducendone i tempi e migliorandone le prestazioni.

- Se invece lo snap-fit è **finale** significa che per tutta la vita utile del pezzo lo snap-fit dovrà rimanere in posizione svolgendo la sua funzione di bloccaggio. La maggior parte degli snap-fit si trova all'interno di questo gruppo.

III. Ritenzione

In questo caso ci si riferisce alla natura della coppia di bloccaggio: avremo una ritenzione PERMANENTE oppure NON PERMANENTE.

- Se la ritenzione è **permanente** il bloccaggio non è stato progettato per rilasciare il sistema. Sono utilizzati quando è necessario che il prodotto finale non si deva aprire a causa di forze casuali esterne.
- La ritenzione **non permanente** è quella in cui si progetta lo snap-fit in modo che possa sbloccarsi se applicata la giusta forza.

In realtà parlare di ritenzione permanente è inesatto in quanto tutti i blocchi possono essere separati una volta ingaggiati. In questo caso possono essere divisi soltanto applicando una grande forza che solitamente danneggia il dispositivo di bloccaggio o la parte. Come illustrato nella figura accanto il bloccaggio è di tipo permanente e soltanto una forza eccessiva che romperà senza dubbio gli elementi di chiusura potrà separare i pezzi.



Figura 2-18: Bloccaggio Snap-fit permanente

IV. Tipo di bloccaggio

Questa categoria è una sottodivisione soltanto degli Snap-fit con ritenzione non permanente e si suddivide in RILASCIABILI e NON RILASCIABILI

- Gli Snap-fit non permanenti **rilasciabili** sono progettati per permettere la separazione quando una forza di separazione viene applicata alle parti
- Gli Snap-fit non permanenti **non rilasciabili** sono progettati per la separazione solo se una forza manuale esterna deflette la parte mobile. Il problema di questo tipo di bloccaggio è che non è garantito la funzione di non rilascio contro forze di separazione non intenzionali.

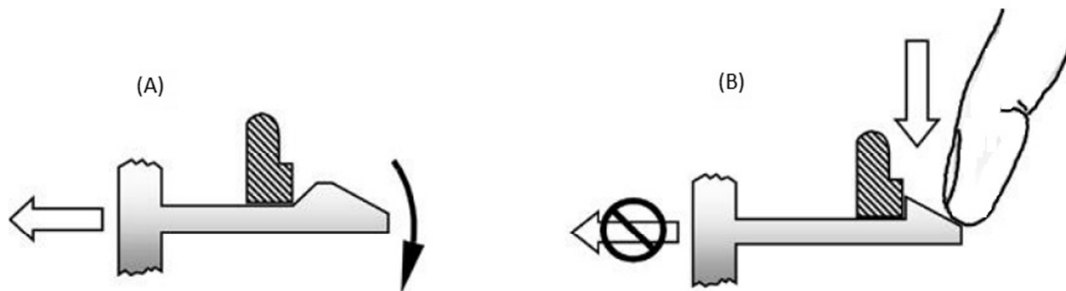


Figura 2-19: Snap-fit rilasciabile (A) e Snap-fit non rilasciabile (B)

Nel diagramma a cascata in Figura 2-20 sono riepilogati i parametri di scelta degli Snap-fit.

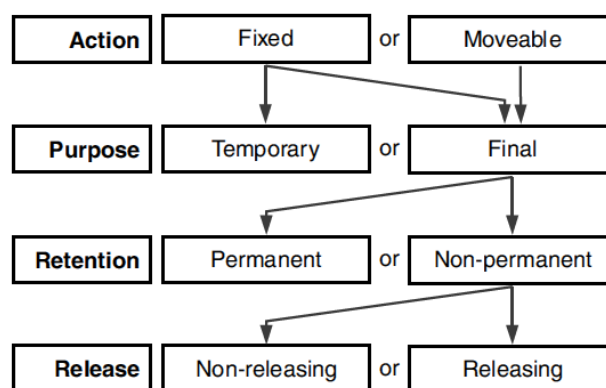


Figura 2-20: Parametri scelta Snap-fit

4. Forme base

Prima di effettuare la classificazione delle forme base è necessario eseguire una prima divisione tra le parti base (*base part*) e quelle che andranno a combaciare (*mating part*). Solitamente le prime sono quelle larghe e stazionarie o fissate, mentre le seconde sono più piccole, tenute in mano e inserite in un incastro con la parte base. Oltre alla distinzione preliminare questi due tipi di parte differiscono anche per il tipo di forma base a cui si associano.

Le forme base sono delle forme geometriche semplici che descrivono per l'appunto le parti che devono essere unite. Classificando in questa maniera i vari componenti sarà più semplice pensare ad un'applicazione in termini generici trasferendo il concetto di snap-fit nelle varie applicazioni, avendo così una visualizzazione migliore del collegamento in generale.

Questa classificazione ha validità generale in quanto indipendente dal materiale con cui sono state costruite le parti dell'accoppiamento e cercano di valutare tra le possibili alternative quali siano le migliori per semplificare le operazioni di montaggio. In totale le forme base sono 6:

- **SOLIDO**: Componente con rigidità e profondità. I vincoli possono essere posti nelle tre direzioni

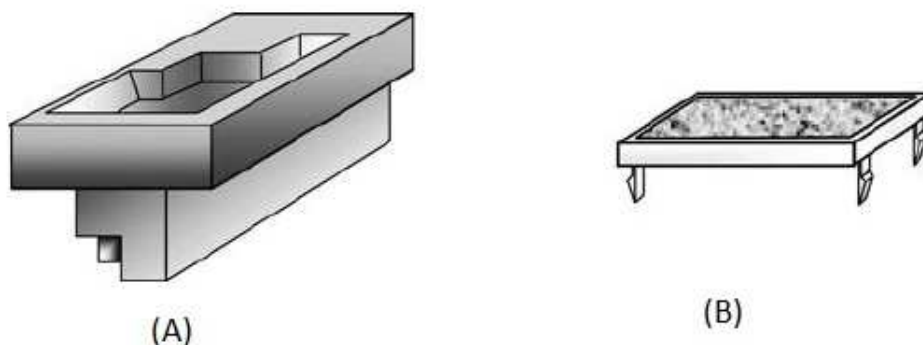


Figura 2-21: Esempi di Solido (A) e di Pannello (B)

- **PANNELLO**: Componenti relativamente sottili, poco resistenti ad effetti di curvatura e flessione. I vincoli sono posizionati solitamente su o vicino al perimetro ma possono trovarsi ovunque sul pannello.

- **CHISURA:** Un pannello tridimensionale. I vincoli sono posizionati lungo gli spigoli aperti.
- **SUPERFICIE:** Un'area bidimensionale locale con i vincoli posti sulla superficie.

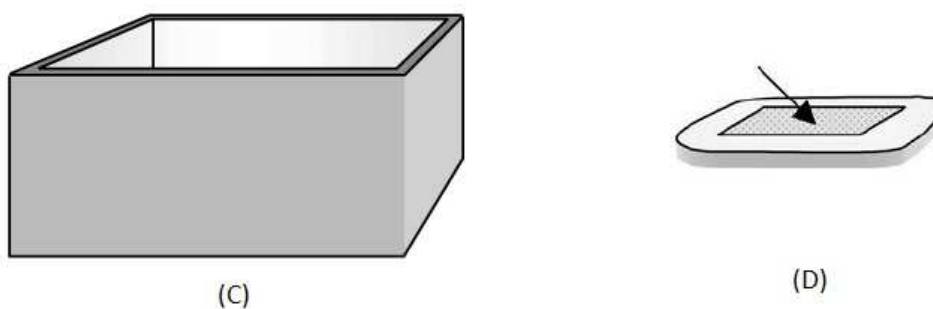


Figura 2-22: Esempi di Chiusura (C) e di Superficie (D)

- **APERTURA:** un foro in una superficie con i vincoli localizzati vicino o in corrispondenza degli spigoli dell'apertura

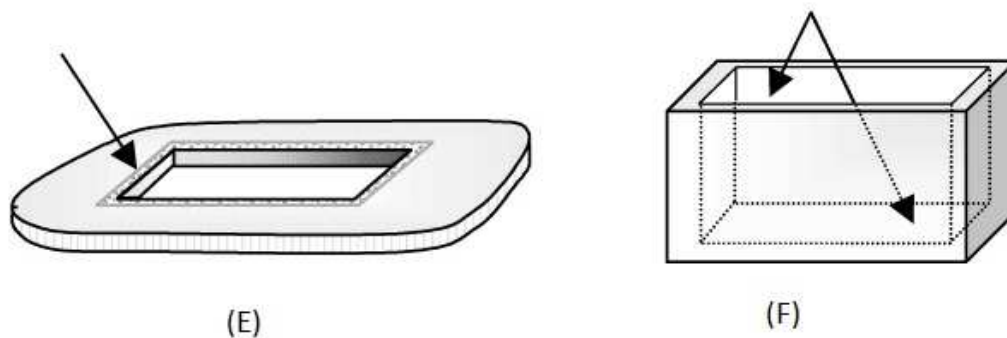
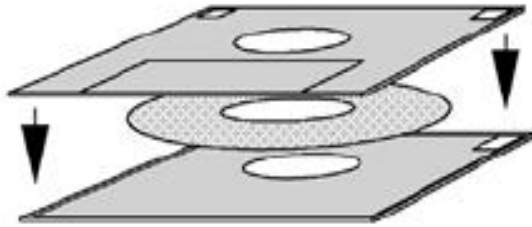


Figura 2-23: Esempi di Apertura (E) e di Cavità (F)

- **CAVITÀ:** Si tratta di un'apertura con una profondità. Come per i solidi i vincoli sono tridimensionali

Solitamente le parti base sono solidi, superfici, aperture o cavità mentre le parti combacianti saranno solidi, pannello o chiusure. È importante specificare che non tutti i tipi di parti base possono essere collegati con i tipi di parti combacianti,



altre coppie invece saranno utilizzate solo per casi particolari come nell'esempio in Figura 2-24, due pannelli vengono collegati per formare un unico oggetto: un floppy disk.

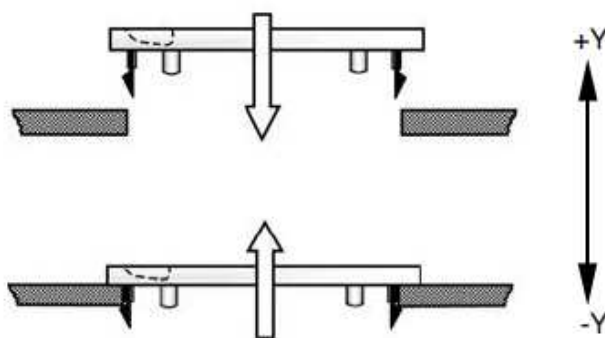
Figura 2-24: Esempio collegamento Pannello/Pannello

2.4.3 La dinamica dello snap-fit

Gli Snap-fit possono essere successivamente divisi in base a parametri di tipo dinamici: direzione d'ingaggio e movimento di assemblaggio.

I. Direzione d'ingaggio

È definita come la direzione finale che la parte di collegamento assume quando si blocca nella sede sulla base ed è descritta da un vettore di intensità nulla. Possono esserci diversi movimenti nello spazio prima di completare il collegamento ma non verranno considerati per la determinazione della direzione di ingaggio.



Scegliendo la direzione di ingaggio si sceglie di conseguenza la direzione di disimpegno essendo uguale ma di verso opposto.

Figura 2-25: Direzione di ingaggio e smontaggio

Questa semplice relazione porta alla definizione di un'importante regola per l'identificazione delle direzioni di assemblaggio ammissibili:

“Selezionata una direzione di ingaggio, la direzione e il verso di separazione non dovranno essere gli stessi di qualsiasi altra forza significativa agente sull'accoppiamento.”

Ciò significa che tra le possibili direzioni di ingaggio bisogna sempre evitare che quella scelta coincida con quella di una forza agente sul sistema che abbia l'intensità necessaria per l'apertura involontaria delle parti. In Figura 2-26 si può vedere con un esempio la correttezza di questa regola: volendo collegare un generico componente (I) con una generica base (II) è opportuno scegliere la direzione da cui far avvenire l'assemblaggio. Nel caso A dopo aver posizionato il pezzo (I) si applica una forza F ; essendo il verso di quest'ultima opposto a quello di smontaggio non accadrà nulla. Nel caso B invece dopo aver posizionato la parte (I) dal lato opposto e dopo aver applicato la forza F , accadrà che la parte (I) si staccherà da (II) essendo verso di smontaggio uguale a quello di applicazione della forza.

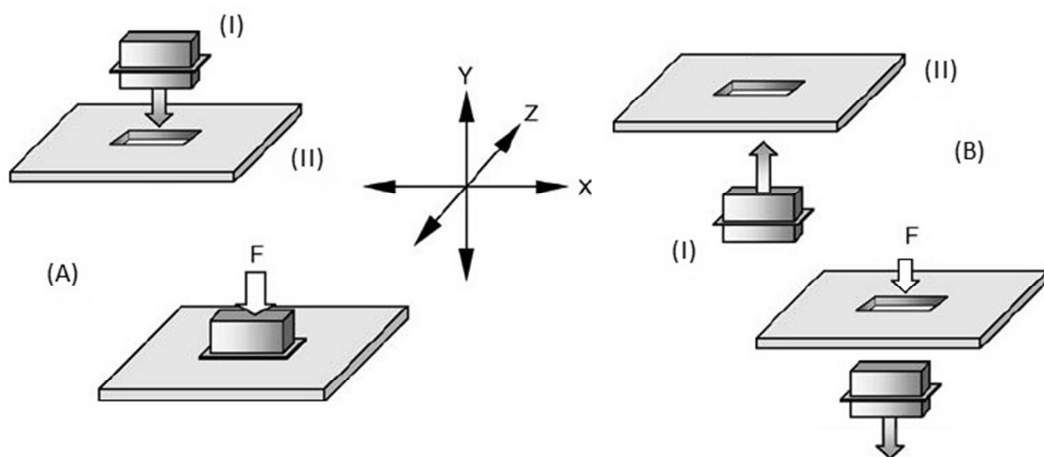


Figura 2-26: Direzione di ingaggio corretta (A) e scorretta (B)

È importante ricordare che la direzione di ingaggio è riferita a tutta la parte che deve assemblarsi e non soltanto a quella finale.

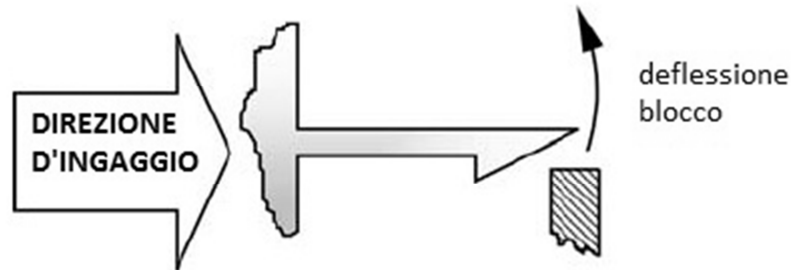


Figura 2-27: Direzione di ingaggio della parte

II. Movimento di assemblaggio

Questo è l'ultimo elemento descrittivo ed è definito da 5 movimenti generici che devono essere compiuti dall'uomo durante la fase di assemblaggio. Questi spostamenti possono essere combinati tra loro e influenzano la progettazione dello Snap-fit e possono avere implicazioni ergonomiche

- *Spingere*: un movimento di tipo lineare tra la parte di collegamento e la base di relativamente breve durata prima del bloccaggio definitivo. In alcuni casi è necessario il contatto con una guida prima dell'impegno delle parti.
- *Scorrere*: un movimento lineare, con un contatto precedente tra le parti di bloccaggio seguito da un movimento addizionale della parte mantenendo un contatto continuo con la base fino al bloccaggio finale.

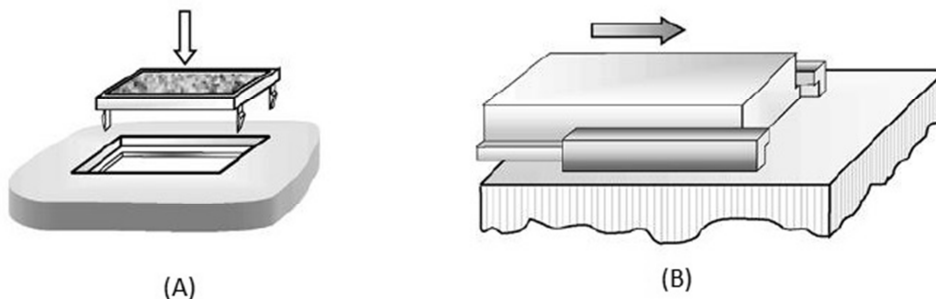


Figura 2-28: Esempio di Spinta (A) e di Scorrimento (B)

- *Puntare*: si tratta di un movimento rotazionale dove una o più componenti di bloccaggio che si trovano sulla parte da unire vengono ingaggiate per prime. L'impegno iniziale è seguito da una rotazione attorno alla parte già a contatto fino a che l'accoppiamento non è completo.
- *Torcere*: si tratta di un movimento rotazionale dove la parte che deve essere assemblata presenta una o più componenti asimmetriche. Essa viene ingaggiata in maniera preliminare con un movimento lineare e successivamente viene ruotata attorno all'asse bloccando così le due parti.
- *Imperniare*: si tratta di un movimento rotazionale in cui la parte di assemblaggio viene inserita nella parte di bloccaggio con un movimento di spinta. Il componente da assemblare diventa così una sorta di perno attorno al quale si ha il bloccaggio delle parti.

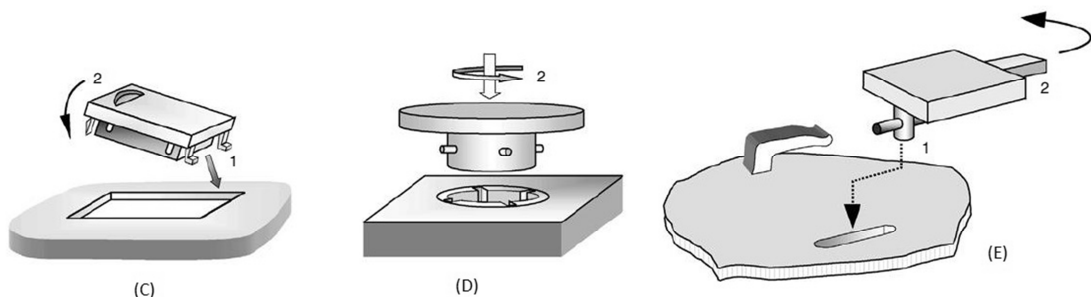


Figura 2-29: Esempio di Puntamento (C), di Torsione (D) e di Impernatura (E)

Durante la progettazione è necessario quindi definire innanzi tutto i gradi di libertà che si vuole che lo Snap-fit vincoli, gli spazi disponibili per l'assemblaggio e l'ingombro dei vari componenti della parte da assemblare. Successivamente si può decidere quanti snap-fit siano necessari e alla loro determinazione nelle varie classi appena descritte in base all'applicazione necessaria e alle criticità riscontrate. Ad esempio, se nell'applicazione è necessario un movimento preciso si utilizzerà lo scorrimento (con l'aggiunta di una guida se necessario), se la criticità è lo spazio a disposizione si utilizzerà una torsione, mentre se il bloccaggio deve essere effettuato su più lati saranno utilizzati metodi come quello del puntamento o dell'impernatura.

Seguendo le regole del Design For Assembly molte scelte della progettazione dovranno essere mirate in modo da facilitare il lavoro di chi dovrà montare l'oggetto finale. Nel caso di un operatore, le forze in gioco non dovranno essere eccessivamente elevate per non affaticare o rendere pericoloso il processo di assemblaggio. Il collegamento deve essere allo stesso tempo resistente, veloce da eseguire e pratico, con accorgimenti che possano aiutare a far capire all'operatore quando l'accoppiamento è completato (oltre al suono dello scatto un piccolo incremento della forza necessaria verso la conclusione del movimento). Nel caso di montaggio automatico, invece, la praticità e soprattutto la semplicità dei collegamenti dovrà essere maggiore evitando spostamenti come quello del puntamento o dell'impennatura in cui abbiamo una rototraslazione: per l'operatore questo risulta un movimento semplice ed intuitivo mentre per un macchinario sono necessarie numerose equazioni per effettuare l'assemblaggio.

2.5 Progettazione preliminare del Sistema Snap-fit

Nelle applicazioni utilizzate in questa tesi si è scelto di utilizzare degli Snap-fit standard di tipo ad uncino a sbalzo in quanto sono relativamente semplici per quanto riguarda la loro costruzione e la loro progettazione.

Nella Figura 2-30 è rappresentato il modello dello snap-fit con le sue dimensioni caratteristiche

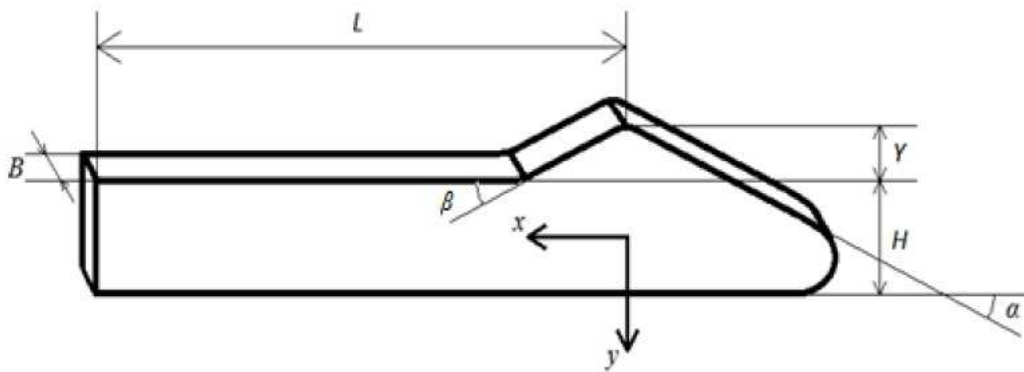


Figura 2-30: Dimensioni caratteristiche Snap-fit

- L è la distanza tra la base e la parte terminale a forma di uncino;
- H l'altezza del collegamento a scatto;
- B la larghezza della base;
- Y è il sottosquadro dato dal terminale;
- α angolo di inserimento (o di assemblaggio);
- β angolo di disimpegno (o di smontaggio).

Gli ultimi due parametri, come si vedrà più avanti, sono fondamentali per definire la direzione dei carichi e quindi ripartizione della forza necessaria per assemblare o smontare il sistema. Il valore del sottosquadro Y invece è molto importante visto che corrisponde al valore di inflessione massima che il progettista vuole che lo snap-fit abbia.

Questo tipo di snap-fit è approssimabile quindi ad una mensola incastrata quindi per la sua progettazione è necessario usare le formule di freccia massima e di resistenza della configurazione in Figura 2-31.

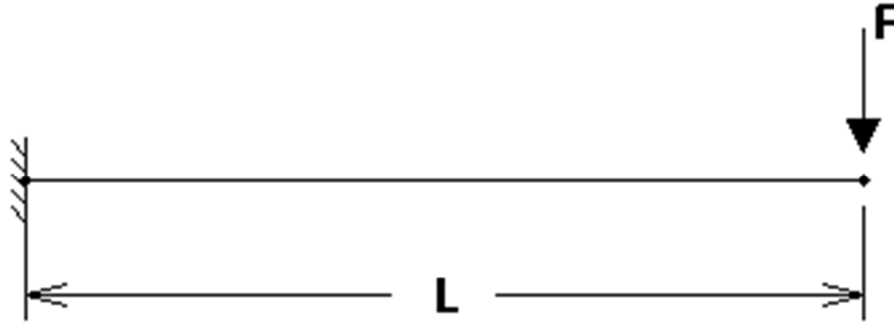


Figura 2-31: Schematizzazione a mensola Snap-fit

La freccia massima risulterà:

$$f = \frac{1}{3} * \frac{FL^3}{EI}$$

Come detto in precedenza il valore di inflessione massima f_{max} sarà pari a Y, mentre per uno snap-fit di sezione rettangolare B*H il momento di inerzia risulta $\frac{1}{12}BH^3$. Sostituendo nell'equazione ed invertendo i termini si ottiene:

$$F = \frac{3EI}{L^3} f = \frac{3E}{L^3} \frac{BH^3}{12} Y = \frac{EBH^3}{4L^3} Y$$

Ipotizzando che la mensola sia caricata da un'estremità da una forza concentrata di valore F e sia incastrata dall'altra. Il momento massimo risulta:

$$M_{max} = FL$$

Trascurando gli effetti di taglio lo sforzo massimo, applicato nell'incastro sarà pari a:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I} y = \frac{FLH}{I} \frac{1}{2} = \frac{12FLH}{BH^3} \frac{1}{2} = \frac{6FL}{BH^2}$$

Inserendo in quest'ultima equazione quella della forza massima in funzione della freccia massima si otterrà:

$$\sigma_{max} = \frac{6FL}{BH^2} = \frac{6L}{BH^2} \frac{EBH^3}{4L^3} Y = \frac{3}{2} \frac{EH}{L^2} Y$$

Lo snap-fit dovrà operare in campo elastico quindi:

$$\sigma_{max} \leq \frac{R_{sn}}{\eta} = \sigma_{amm}$$

Il progettista dovrà valutare lo spessore e la lunghezza dello snap-fit, rispettivamente H e L, modificando la larghezza della base (B), l'inflessione massima (Y) e la forza in direzione y (F_y).

La forza da applicare non si può imporre direttamente ma va ricavata dopo aver valutato i vari carichi applicati sulla punta dello snap-fit. Conoscendo gli angoli α , β e X, cioè la forza esercitata orizzontalmente per congiungere, o separare, lo snap-fit e la sua base, è possibile ricavare il valore di F_y con semplici equazioni di equilibrio.

Come si vede in Figura 2-32 la forza orizzontale X può essere scomposta nelle 2 direzioni normale e tangenziale all'interfaccia dello snap-fit ottenendo N e T moltiplicando per il coseno e il seno di θ .

$$N = X \sin(\theta) \quad T = X \cos(\theta)$$

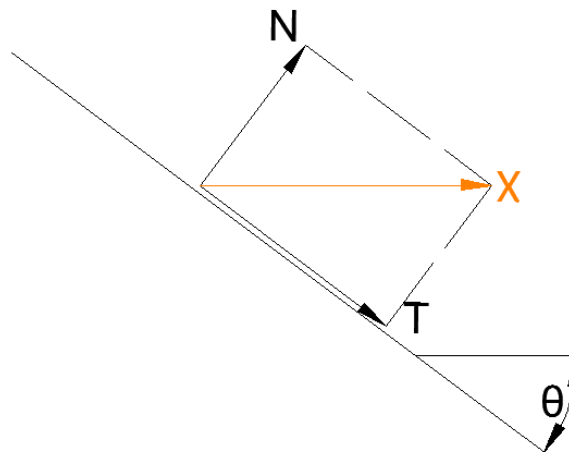


Figura 2-32: Scomposizione delle forza X in base all'angolo θ

Successivamente sarà necessario considerare l'attrito all'interfaccia tra le due superfici, indicando μ l'attrito dinamico tra le due parti

$$F_{att} = \mu N$$

È ora possibile valutare il valore della forza tangenziale definita come F_{ris}

$$F_{ris} = T - \mu N = X \cos(\theta) - \mu X \sin(\theta)$$

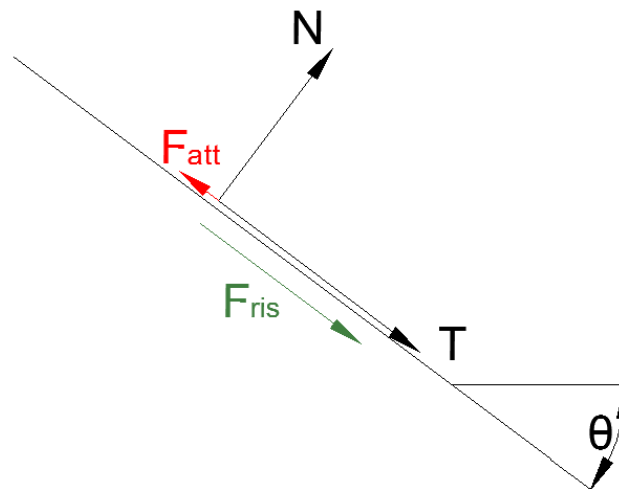


Figura 2-33: Calcolo attrito e forza risultante

Nella modellazione a mensola incastrata il carico è dato da una forza in direzione y , quindi il valore di F_y deve essere ricavato da moltiplicando F_{ris} per il seno di θ .

$$F_y = F_{ris} \sin(\theta) = (X \cos(\theta) - \mu X \sin(\theta)) \sin(\theta)$$

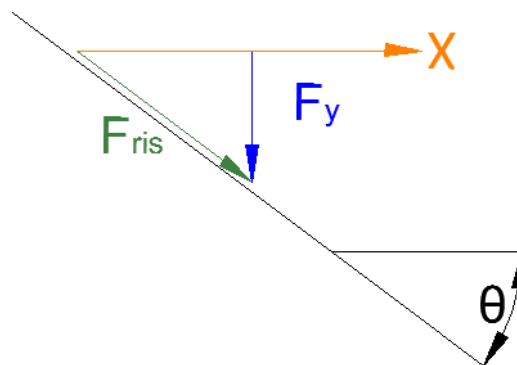


Figura 2-34: Calcolo della Forza verticale

Questa formulazione è la medesima per il caso di assemblaggio e di smontaggio: è sufficiente utilizzare l'angolo corretto α o β al posto del generico θ .

La forza verticale applicata all'estremità dello Snap-fit sarà quindi dipendente da:

- i materiali utilizzati (parametro μ)
- la tipologia di Snap-fit e la sua fattibilità tecnologica (parametri α e β)
- la forza, e di conseguenza la difficoltà da parte dell'operatore, con cui si vuole che lo Snap-fit si chiuda (X)

I parametri da imporre riguardante la larghezza e l'inflessione massima a cui deve essere soggetto lo Snap-fit dipenderanno dall'ingombro disponibile e dalle diverse dimensioni in gioco durante l'accoppiamento.

Una volta definiti tutti i parametri è possibile valutare lo spessore e la lunghezza dello Snap-fit combinando le equazioni appena analizzate:

- Forza verticale in funzione di θ e X

$$F_y = (X \cos(\theta) - \mu X \sin(\theta)) \sin(\theta)$$

- Forza verticale in funzione di Y

$$F = \frac{EBH^3}{4L^3} Y$$

- Equazione dello sforzo massimo

$$\sigma_{max} = \frac{3EH}{2L^2} Y \leq \frac{R_{sn}}{\eta}$$

Combinando queste equazioni si possono ottenere i valori minimi di L e H

$$H = L \left(F_y \frac{4}{YEB} \right)^{1/3} \quad L \geq \frac{3}{2} EY \left(F_y \frac{4}{YEB} \right)^{1/3} \frac{\eta}{R_{sn}}$$

Come si può notare, i due valori sono legati tra loro quindi sarà sufficiente variare il valore di L per trovare una soluzione unica al problema.

Nel dimensionamento degli Snap-fit di questo progetto è stato creato un foglio di calcolo in cui inserendo i valori di input si otterranno i valori minimi di L e di H. I termini in ingresso sono il materiale (quindi μ_d , E, R_{sn}), il numero di Snap-fit su cui andrà ripartito il carico, gli angoli di assemblaggio e disassemblaggio (α e β), la larghezza dello Snap-fit (B), il sottosquadro o flessione massima dell'uncino (Y), la forza totale da applicare in smontaggio e montaggio e il coefficiente di sicurezza (η).

Per tutti i calcoli effettuati nei progetti descritti nei capitoli successivi il coefficiente di sicurezza η sarà pari a 1,5.

Una volta ottenuti i valori minimi di L ed H si procede modificando la lunghezza dello Snap-fit fino ad ottenere uno spessore e delle dimensioni accettabili per l'applicazione

Capitolo 3

I campi di applicazione

3.1 Le barriere antirumore

Le barriere antirumore, definite anche acustiche o fonoassorbenti, sono delle opere volte alla riduzione o alla eliminazione del rumore all'esterno di un'area circoscritta. Solitamente si tende ad utilizzare questi dispositivi per ridurre l'inquinamento acustico generato da strade, autostrade, ferrovie o nuclei industriali siti in luoghi in cui sono presenti uno o più soggetti sensibili come ad esempio centri abitati.

Intuitivamente la nascita delle barriere antirumore corrisponde con l'incremento del traffico stradale e con lo sviluppo degli studi sull'acustica. Attorno agli anni 60 si iniziò a valutare l'efficacia delle barriere acustiche poste nell'adiacenza di una specifica carreggiata. Circa vent'anni più tardi anche in Italia furono costruite le prime barriere soprattutto utilizzando pannelli metallici in quanto questi materiali univano una relativa leggerezza alla semplicità di progettazione e di produzione.

Le barriere antirumore si basano su un concetto molto semplice: un'armatura metallica fonoisolante a protezione di un materiale fonoassorbente molto meno resistente. L'involucro metallico oltre a proteggere dagli urti, dalla pressione del vento o da detriti proiettati dal manto stradale, essendo componenti di un'opera posta all'esterno, e quindi agli agenti atmosferici, devono ridurre l'ingresso dell'acqua e favorirne il drenaggio. Con particolari accorgimenti come l'utilizzo di materiali specifici o di vernici speciali i pannelli devono essere preservati dalla corrosione sia all'interno che all'esterno del pannello stesso.

Lo studio delle barriere antirumore può essere visto sotto due punti di vista: quello prettamente legato all'acustica e quello legato ai suoi elementi costitutivi secondo un punto di vista più strutturale.

Le barriere possono essere catalogate in due tipologie:

- Barriere artificiali: dette anche barriere a pannello e solitamente non occupano molto spazio in larghezza e sono relativamente leggere; il grosso problema è rendere compatibile il prodotto artificiale con il contesto naturale in cui è inserito.
- Barriere naturali: dette anche barriere a terrapieno e sono molto più ingombrati ma di più facile inserimento nel paesaggio naturale.

Per lo sviluppo di questa tesi è necessario analizzare in maniera più approfondita la prima tipologia: i pannelli, i compositi e la struttura portante devono essere dimensionate in base da trasmettere al terreno (oppure alla fondazione) le sollecitazioni a cui sono sottoposte.

I componenti principali di una barriera antirumore sono:

- Pannelli
- Struttura portante
- Materiale fonoassorbente/fonoisolante

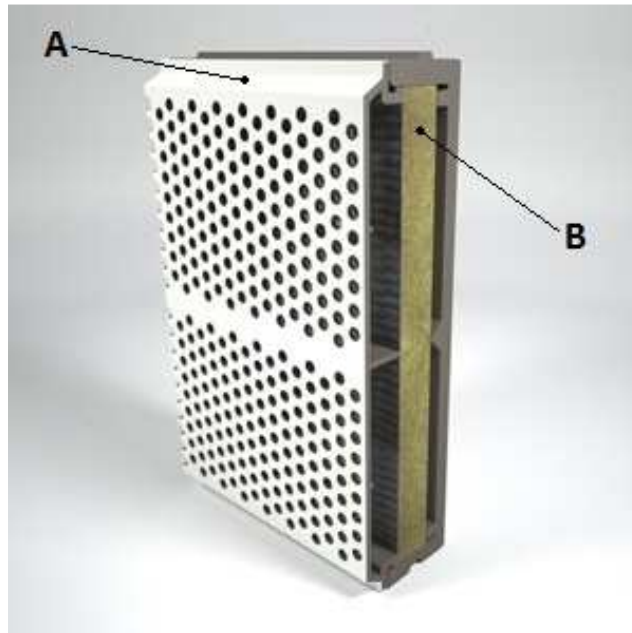


Figura 3-1: Pannello (A) e materiale fonoassorbente (B) di una barriera

3.1.1 Pannelli

Un prima tipologia di pannelli è quella in materiale metallico. In passato hanno avuto ampia diffusione le barriere in acciaio grazie alla lavorabilità, alla resistenza meccanica e alla grande disponibilità sul mercato. I problemi di questo materiale sono il peso e sicuramente la vulnerabilità alla corrosione. Per ovviare a ciò erano possibili due soluzioni: ricorrere a processi come la verniciatura e la zincatura, aumentando i costi e il tempo di produzione, oppure utilizzare l'alluminio. Con la seconda scelta si guadagna notevolmente sulla massa totale, infatti il peso specifico è circa un terzo di quello dell'acciaio, sull'elasticità e sulla resistenza agli agenti chimici. Esistono però alcuni svantaggi come l'aumento dei costi e una minore resistenza meccanica e durezza. Mentre per il primo svantaggio è inevitabile, il secondo può essere superato utilizzando leghe di alluminio che, a seconda dei materiali leganti, permettono di aumentare le caratteristiche meccaniche del materiale. Principalmente vengono utilizzate leghe in alluminio-magnesio-silicio, cioè quelle appartenenti alla serie 6000. Queste leghe hanno la particolarità di una buona lavorabilità plastica a freddo e all'utensile (a seconda del trattamento termico a cui sono sottoposte). Inoltre hanno una buona resistenza alla corrosione in ambiente urbano e una buona attitudine all'ossidazione anodica per protezione. Sia nel caso di utilizzo di acciaio che di alluminio il pannello rivolto verso la sorgente del rumore sarà forata in modo che le onde sonore possano penetrare e incontrare il materiale fonoassorbente ricoperto da tessuti idrorepellenti.

In seguito alle nuove problematiche relative alla salvaguardia dell'ambiente, è aumentato l'interesse verso l'utilizzo di pannelli in legno. Oltre ai bassi costi di produzione, il legno è facilmente rinnovabile, riciclabile o riutilizzabile in processi che lo utilizzano come fonte energetica. Le due caratteristiche principali sono però la facilità nello smaltimento, essendo completamente biodegradabile, e nell'inserimento nell'ambiente circostante in termini di impatto ambientale. La vera problematica di questo materiale è la bassa idoneità all'utilizzo in ambiente esterno: umidità, temperatura, raggi UV e organismi vegetali ed animali sono i principali fattori di degrado chimico-fisico e biologico. Per questi motivi anche il legno andrà opportunamente scelto in base al luogo in cui andrà posizionato (per esempio, le condizioni climatiche di una strada in un contesto montano forniscono uno stress maggiore di una strada posta in pianura) e trattato prima di essere

utilizzato per poter costituire una barriera antirumore con opportune vernici il più possibile “ecologiche”

Un’evoluzione di questo prodotto è l’utilizzo di un ibrido: i pannelli rivolti verso la fonte di rumore sono costituiti in alluminio o materiale metallico mentre i pannelli rivolti verso i ricettori sono in legno. Si avrà quindi un incremento delle prestazioni acustiche rispetto alle barriere in legno e una diminuzione dei costi rispetto a quelle in metallo. Inoltre esteticamente gli autisti avranno una visione dinamica del manufatto senza notare particolari differenze dalle barriere comuni mentre ai ricettori è garantita un visione statica gradevole del manufatto in legno.

Vanno infine citati altri tipi di barriere meno utilizzati come i pannelli a struttura portante in calcestruzzo armato, pannelli in piastre modulari in calcestruzzo alleggerito, pannelli trasparenti a lastra in polimetilmetacrilato, in policarbonato oppure in cotto.

3.1.2 Struttura portante

Attualmente le strutture portanti sono realizzate soprattutto in acciaio zincato e verniciato. Questo materiale è privilegiato nella scelta a causa del suo basso costo e delle elevate caratteristiche meccaniche. Solo per situazioni particolari vengono

utilizzati altri materiali come l’alluminio, il legno o il calcestruzzo.

I montanti, solitamente un profilo di tipo HE in acciaio strutturale zincato a caldo (S235 JR G2) viene saldato a dei piatti metallici e successivamente bloccato a terra , direttamente o con l’utilizzo di una fondazione, con un collegamento bullonato.

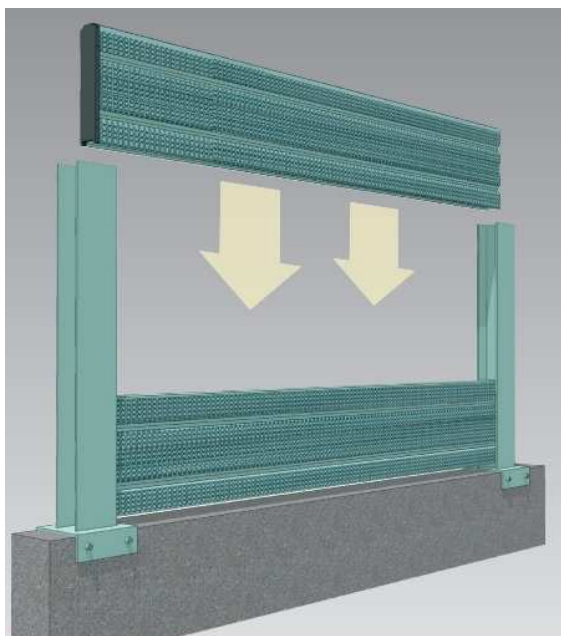


Figura 3-2: Struttura portante barriera antirumore

3.1.3 Materiale fonoisolante

La barriera antirumore deve ridurre l'immissione del rumore a uno o più ricevitori. Sono possibili tre modalità spesso legate tra loro:

- Riduzione per diffrazione: i raggi sonori devono scavalcare la barriera deviando quindi il proprio moto diretto compiendo un tragitto maggiore. Il rumore può scavalcare la barriera solo in corrispondenza dei bordi, quindi ai lati e alla sommità. L'effetto diffrattivo è fortemente influenzato dalla lunghezza d'onda del suono: un rumore a frequenza più alta sarà maggiormente attenuato. La diffrazione verrà calcolata attraverso la stima di un parametro adimensionale detto "Numero di Fresnel" (N). Tale numero è in funzione della differenza tra percorso diretto senza la barriera e il percorso diffratto con la barriera (δ) e alla lunghezza d'onda del suono di interesse ($\lambda = \frac{f}{c}$).

$$N = \pm 2 \frac{\delta}{\lambda} = \pm 2 \delta \frac{f}{c}$$

Un valore alto indica un'attenuazione maggiore da parte della barriera mentre un valore più basso indica il contrario. Il segno positivo verrà usato per $\delta \geq 0$ mentre quello negativo per $\delta < 0$ per rendere il valore di N sempre maggiore di 0.

- Riduzione per assorbimento: i raggi sonori sono assorbiti dalla barriera senza essere riflessi. Il fonoassorbimento può essere definito in maniera diversa attraverso 4 parametri: con il coefficiente di assorbimento α che indica il rapporto tra energia sonora riflessa e quella incidente, con il suo opposto cioè il coefficiente di riflessione $\rho = \frac{1}{\alpha}$, con l'indice unico di assorbimento oppure con il NRC (Noise Reduction Coefficient). Il più utilizzato è il primo metodo: teoricamente il valore di α è sempre minore di 1 in quanto, se il materiale fonoassorbente funziona, l'energia riflessa è sicuramente minore di quella incidente. Quindi un valore basso di α indica un buon funzionamento della barriera. In alcuni casi è possibile che il valore sia maggiore dell'unità non a causa delle proprietà del materiale ma in caso di problemi meteorologici.

- Riduzione in base al potere fonoisolante: la barriera impedisce al rumore di attraversarla in maniera più efficace tanto quanto è maggiore la massa superficiale. Il potere fonoisolante viene descritto attraverso l'indice TL o Transmission Loss che esprime la quantità di energia sonora che viene persa attraversando la barriera antirumore. Questo valore sperimentale viene determinato in laboratorio e dipende dalla massa superficiale del materiale fonoisolante, cioè il prodotto tra spessore e densità del materiale: all'aumentare della massa superficiale aumenta il potere fonoisolante.

Solitamente la scelta del materiale fonoassorbente ricade tra materassini in lana minerale o fibre chimiche. I primi sono costituiti da fibre ottenute per l'azione di violenti getti d'aria su colate di vetro (ottenendo la "lana di vetro") oppure su rocce vulcaniche fuse (ottenendo la "lana di roccia"). Alle fibre grossolane formate con questo processo si aggiungono resine, olio e in un secondo momento si forma un tappeto di "lana", compresso e polimerizzato in funzione di quello che si vuole creare. Le caratteristiche di resistenza al fuoco, isolamento termico, resistenza all'acqua e una natura prettamente inorganica (quindi sfavorevoli alla crescita di batteri e funghi) rendono questo materiale ottimo per applicazioni in edilizia. Inoltre la struttura a celle aperte delle fibre, che favorisce l'assorbimento delle onde e l'attenuamento dell'intensità e la propagazione dei rumori, fornisce ottime proprietà di assorbimento acustico fondamentali per una barriera antirumore. I secondi tipi di materassini sono costituiti da fibre tessili di origini diverse (inorganiche, animali, vegetali, sintetiche, artificiali) create e combinate in modo da avere certe caratteristiche: anti-infiammabilità, resistenza ai batteri e agli acidi, ed elevate caratteristiche meccaniche. Grazie a queste proprietà si possono utilizzare senza protezione superficiale nelle zone esposte all'aggressione ambientale senza perdere in durabilità. Un grande vantaggio di questo tipo di materiale è la riciclabilità e il facile smaltimento. Le fibre scartate possono essere riportate alla materia prima iniziale, reinserite nel ciclo produttivo o riportate al polimero iniziale.

3.2 Pannelli per stand fieristici

I padiglioni negli stand fieristici sono dei box delimitati da delle pareti di dimensioni standard unite tra loro. A meno della presenza di mensole queste strutture hanno solo la funzione di separare i vari stand o come base per incollare poster o manifesti o dipingere loghi delle aziende.

I materiali utilizzati per i pannelli sono PVC Rigido, legno e alluminio

3.2.1 Pannelli in PVC

Il cloruro di polivinile, noto soprattutto come PVC, è una delle materie plastiche di maggior consumo al mondo. Esistono principalmente due tipologie di questa resina termoplastica: PVC flessibile, materiale morbido ottenuto combinando il polimero con un liquido plastico, e il PVC rigido, che non è plastificato e si presenta rigido e duro.

Si possono produrre manufatti più o meno flessibili a seconda della quantità di plastificante con cui è combinato. In generale il PVC è un materiale che ha buone caratteristiche meccaniche ($\rho=1.4 \text{ kg/dm}^3$, $E=3 \text{ GPa}$, $R_{sn} =58 \text{ MPa}$, $A=15\%$), scarsa infiammabilità, buon isolamento elettrico e buona trasparenza.

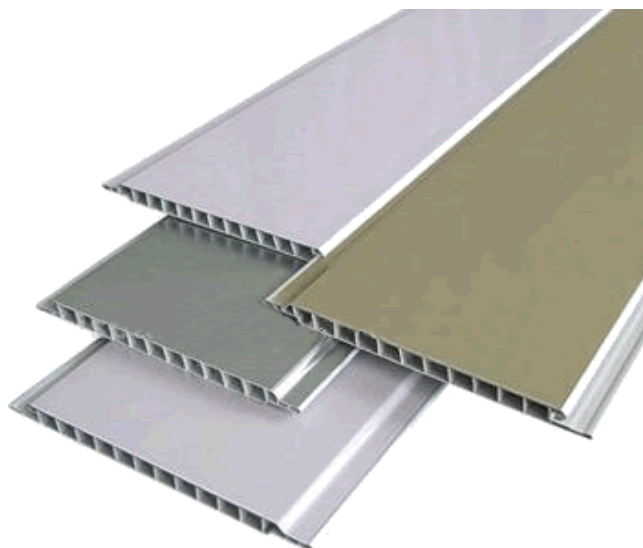


Figura 3-3: Pannelli in PVC

Grazie alla sua permeabilità è ampiamente diffuso nel settore dell'edilizia (vedi tubi). Se non troppo contaminato da altre plastiche può essere riciclabile. Il successo di questo materiale è dato anche dalla grande lavorabilità e dal fatto che può essere prodotto con svariati metodi quali iniezione, compressione e soffiaggio. Le principali lavorazioni di questo materiale oltre ai profilati usati come pannelli per stand fieristici sono tubature, arredi e altri accessori come tapparelle e vestiti. Il principale problema di questo materiale è la pericolosità ambientale in aggiunta a quella per la salute dell'uomo. Infatti la combustione del PVC libera composti cancerogeni e genera acido muriatico in forma gassosa (uno dei maggiori responsabili delle piogge acide)

3.2.2 Pannelli in legno ed MDF

Questo tipo di pannelli ha come obiettivo quello di trovare un compromesso tra leggerezza e resistenza e di rispettare i requisiti di resistenza al fuoco imposto dalle normative. Per il primo problema si tendono ad utilizzare diverse soluzioni: pannelli multistrato con materiali più leggeri e meno pregiati all'interno mentre all'esterno una sottile lamina di materiale più pregiato (Tecnica della impiallacciatura), oppure pannelli tamburati con esterno in MDF ed interno di cartone alveolare.



Figura 3-4: Pannello in compensato

Per il secondo aspetto si tende a ricoprire di vernici apposite il pannello o di inserire durante la costruzione degli stessi particolari additivi che renderanno il materiale a prova di fuoco ed umidità.

I pannelli più utilizzati sono senza dubbio quelli in MDF cioè in fibra a media densità. È un materiale ottenuto da scarti o cascami di lavorazione di conifera, frammentati e compressi assieme alla resina o colla ad alte temperature con procedimenti a secco o ad umido. L'MDF non presenta nodi e difetti quindi risulta molto semplice da tagliare, la sua media/alta resistenza all'acqua e all'umidità permette il suo utilizzo sia all'interno che all'esterno. Meccanicamente non sono molto resistenti in quanto tra le due sottili pareti è presente solo il cartone alveolare che funge esclusivamente da materiale separante per le due lastre in MDF.

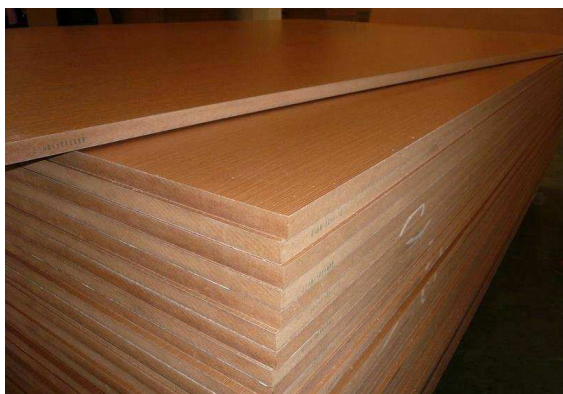


Figura 3-5: Pannelli in MDF



Figura 3-6: Particolare pannelli e anima in cartone

3.2.3 Pannelli in alluminio

In realtà è improprio parlare di pannelli in alluminio in quanto se fossero solo di questo materiale il peso sarebbe eccessivo. In realtà questi sono dei pannelli “sandwich”. Con questo termine si intendono pannelli strutturali autoportanti composti da un nucleo di materiale ignifugo (solitamente lana di vetro o polistirene) accoppiato a lamiere sottili di alluminio preverniciato. Le lamiere vengono incollate alla parte centrale per diventare un pannello unico. Le caratteristiche sono evidenti: la struttura risulta resistente e leggera allo stesso tempo e i materiali sono completamente resistenti al fuoco.

L'alluminio utilizzato solitamente è una lega 3000, cioè Alluminio-Manganese, materiale con caratteristiche meccaniche superiori al materiale vergine senza la perdita delle ottime qualità di lavorabilità.

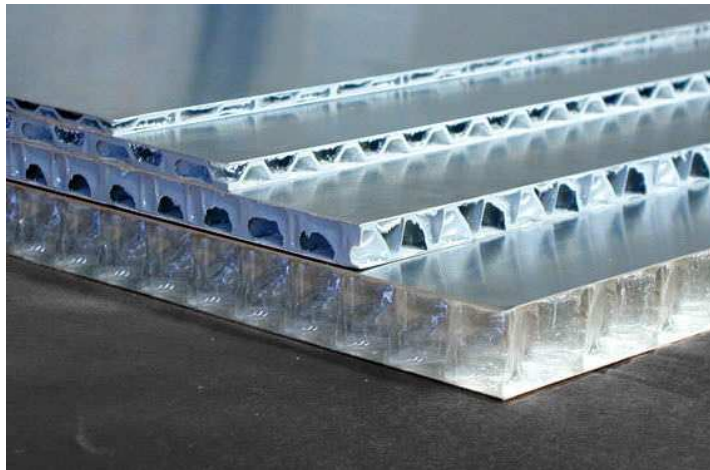


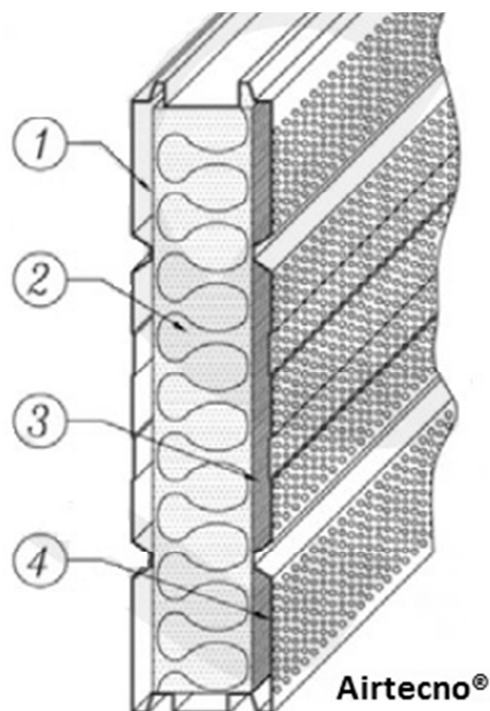
Figura 3-7: Pannelli in Alluminio

Capitolo 4

Applicazioni attuali

4.1 Processi di assemblaggio delle barriere antirumore

Come descritto nel capitolo precedente, solitamente, le barriere antirumore in metallo sono costituite da moduli, come quelli in Figura 4-1, formati da una lamiera piena in alluminio (1), materiale fonoassorbente come la lana minerale (2), rivestimenti antispolvero con un tessuto fonoassorbente (3) e un'altra lamiera in alluminio ma forata (4).



Nella maggior parte dei casi l'altezza dei pannelli non supera i 500 mm, mentre le lunghezze in commercio sono dell'ordine dei 2 o 3 metri. La lamina non forata viene unita a quella forata attraverso un collegamento a baionetta per evitare l'utilizzo delle viti che comporterebbero ingombro e peso maggiore. Questo tipo di collegamento permette di unire due pezzi con un semplice movimento di traslazione senza però garantire il bloccaggio se applicata una forza nella direzione opposta a quella di montaggio.

Figura 4-1: Componenti barriera

Per permettere il bloccaggio dei pannelli una soluzione adottata è quella di applicare una testata in polipropilene che assicura durabilità e resistenza alle temperature e agli agenti atmosferici. Inoltre vengono poi applicate guarnizioni in gomma al fine di ottenere la massima ermeticità tra il pannello e la struttura portante della barriera stessa. In alcuni casi il collegamento a baionetta è assente e la maschera in plastica è il vero metodo di collegamento tra le due lamiere.

Le lamiere solitamente vengono opportunamente sagomate per permettere la sovrapposizione dei vari moduli e quindi aumentare l'altezza complessiva della barriera.



Figura 4-3: Testata chiusura barriera

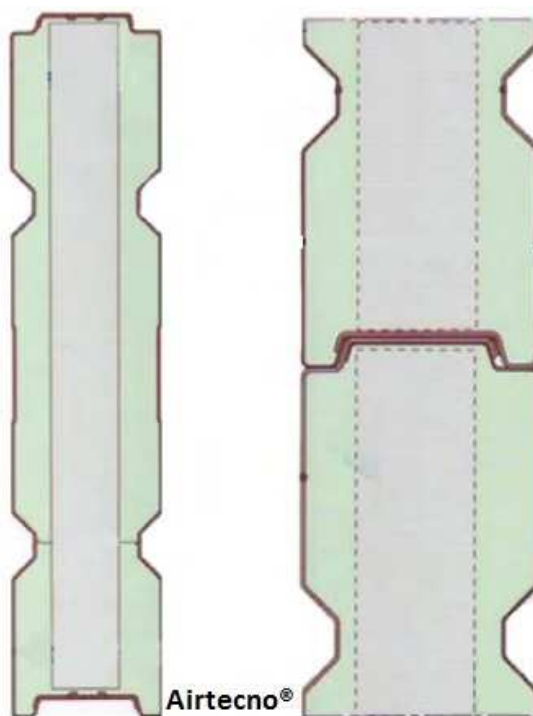


Figura 4-2: Sovrapposizione moduli

Una volta posto nel montante, il modulo va bloccato in posizione in quanto la larghezza dello stesso è sempre inferiore allo spazio tra le due ali (solitamente i profili sono travi HEA/HEB con dimensione esterna da 120 a 180). I modi per far aderire perfettamente il pannello al montante sono due:

- Utilizzare un fermapannello a C con ali diseguali che verrà collegato tramite una vite autofilettante ai pannelli, mentre un collegamento imbullonato lo bloccherà al montante.
- Utilizzare un piatto, che una volta saldato al montante manderà in battuta il pannello bloccandolo in posizione.

In entrambi i casi è necessario porre tra pannello e montante del materiale elastico. Con queste guarnizioni è possibile evitare dei ponti acustici tra pannelli, montante e fondazioni. Oltre all'isolamento sonoro si eviterà così il contatto tra materiali con un potenziale elettrochimico diverso e l'infiltrazione di liquidi. Nel momento di maggiore sollecitazione, la guarnizione dovrà anche evitare la fuoriuscita del pannello dalla propria sede. Solitamente il materiale elastico utilizzato sono guarnizioni in EPDM (gomma etilene-propilene) con queste caratteristiche minime: $R_m = 11$ MPa, $A = 200\%$. Esistono tre tipologie di configurazione: guarnizione "ad U", "ad espansione" e "a striscia continua". La prima è tipica per vincolare lastre trasparenti ai montanti, la seconda per vincolare i pannelli alla camera mentre la terza per evitare vibrazioni e ponti acustici.

Il montaggio risulta completo quando vengono poste delle scossaline metalliche nei punti critici della struttura come i contatti tra elementi diversi, piani di appoggio dei pannelli e gradini. Sono i punti maggiormente aggredite dal degrado e dove si inseriscono acque piovane, polveri e ghiaie provenienti dal fondo stradale. Nei punti esposti in maniera maggiore si utilizza acciaio inossidabile mentre in quelli in cui l'aggressione è minore si preferisce usare lamiera in alluminio o rame o acciaio.

4.2 Processi di assemblaggio dei pannelli fieristici

I processi di assemblaggio possono variare a seconda dell'azienda produttrice e a seconda del tipo di pannello. In questo paragrafo verranno analizzati diversi modalità di montaggio di pannelli in legno e metallo.

Per la descrizione del montaggio di pannelli in MDF farò riferimento all'allestimento del Taste of Milano 2013. I pannelli impilati uno sull'altro all'interno del camion vengono scaricati con l'ausilio di un muletto e posizionati all'interno dell'area in cui dovranno sorgere gli stand. Gli addetti, solitamente due operatori, provvedono a posizionare a terra il primo pannello. Nella scanalatura presente a lato lungo del pannello viene inserito, con l'ausilio di un martello, una striscia lunga quanto il pannello o diversi tasselli in MDF (Figura 4-4): verrà inserito per metà della sua larghezza nel pannello in modo che sporga per l'altra metà verso l'esterno (Figura 4-6). Dopodiché gli operatori prendono un secondo pannello, lo accostano al precedente e lo forzano in modo che il cubetto sia per metà nella scanalatura del primo pannello e per metà in quella del secondo.



Figura 4-4: Blocchetti in MDF



Figura 4-6: Blocchetto nel primo pannello

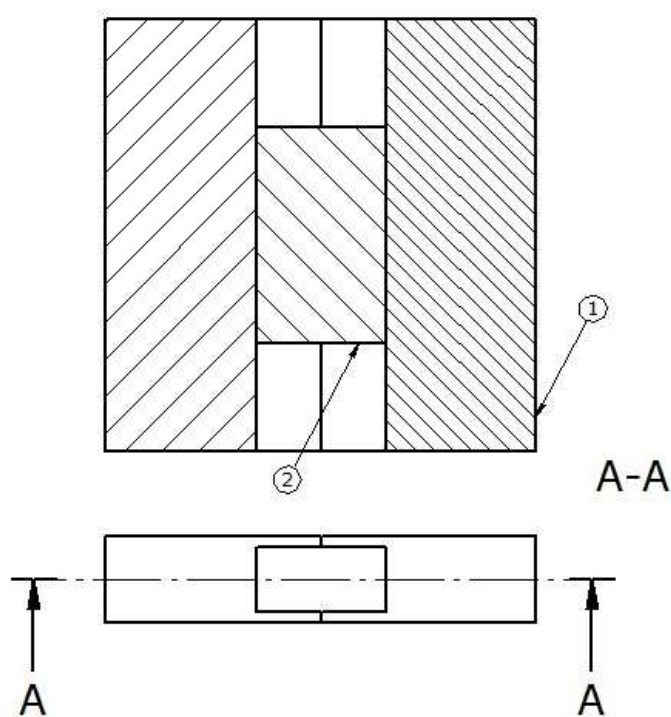


Figura 4-5: Assieme pannelli (1) e blocchetto (2)

Il collegamento in MDF ha funzione puramente stilistica e non strutturale: in seguito al trasporto e all'utilizzo è possibile che i pannelli si pieghino o non combacino perfettamente facendo sì che si formi, una volta affiancati, un interstizio tra essi. In molti casi è possibile vedere la luce passare attraverso questo gap infastidendo i visitatori e non fornendo la continuità richiesta dalle pareti per i banner pubblicitari.

Nella fase successiva nella scanalatura della parte superiore e della parte inferiore del compensato vengono avvitate con un cacciavite elettrico delle barre metalliche che renderanno fisso e stabile il collegamento tra i due pannelli.



Figura 4-7: Collegamento della parte superiore con viti ed avvitatore elettrico

Dopo aver creato una parete formata da una serie di tre pannelli, questa viene sollevata manualmente, posizionata in verticale e fissata a terra tramite degli angolari. Successivamente per evitare che i pannelli appena posizionati possano cadere ne vengono posti altri perpendicolarmente. Il collegamento viene così completato attraverso l'avvitamento di una barra a T nella parte superiore.



Figura 4-8: Disposizione a T pannelli

Successivamente i pannelli vengono verniciati, stuccati e se necessario vengono poste le insegne o i loghi dell'azienda che dovrà esporre i propri prodotti in quello stand.

Per i pannelli in metallo il montaggio può essere più semplice grazie alla sagomatura effettuata durante la costruzione degli stessi. L'accoppiamento maschio/femmina fa sì che i pannelli possano scorrere uno attraverso l'altro posizionandosi in maniera corretta. Successivamente con la bulloneria adeguata vengono fissati tra di loro e a terra.

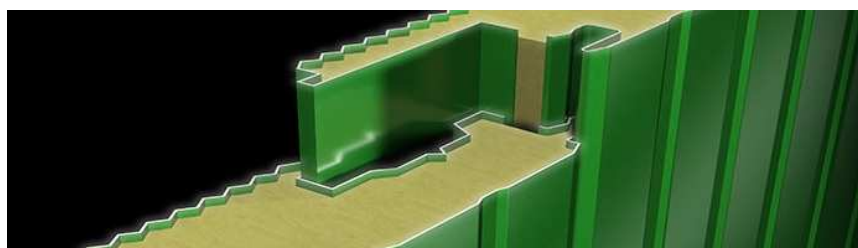


Figura 4-9: Montaggio pannelli in metallo

Capitolo 5

I progetti

Le metodologie attuali di assemblaggio delle barriere antirumore e dei pannelli per stand fieristici visti nel capitolo precedente presentano diverse criticità o piccole problematiche che una volta risolte potrebbero ridurre i tempi di montaggio e semplificarne le fasi. Queste migliorie porterebbero ad una conseguente riduzione dei costi.

La riprogettazione dei sistemi barriera e pannello è stata eseguita con i principi del Design for Assembly. Uno degli strumenti più utilizzati è il metodo Boothroyd. Esso si basa sulla stima delle operazioni e i tempi necessari per il montaggio dei diversi componenti dell'assieme. Questo approccio prevede l'assegnazione di un codice a due cifre: ogni cifra è data in base alle caratteristiche del pezzo. Ad ogni codice è riferito, all'interno di opportune tabelle, il tempo necessario per effettuare l'operazione. I valori espressi in secondi sono stati ottenuti tramite prove sperimentale e permettono di approssimare i tempi di assemblaggio in maniera abbastanza corretta. Ad ogni pezzo verranno assegnati due tempi che corrispondono alla fase di montaggio: il tempo di *manipolazione* e quello di *inserimento*. Nel primo caso si intende l'intervallo di tempo dall'afferraggio del pezzo al posizionamento corretto dello stesso per l'assemblaggio. Nel secondo caso invece si intende il tempo necessario da quando il pezzo è pronto ad essere inserito fino al suo montaggio. Successivamente i tempi di tutti i pezzi andranno sommati tra loro ottenendo il T_{eff} , il valore di tempo effettivo per il montaggio delle parti. Con questo valore è possibile ottenere un indice definito come *Efficienza di Montaggio* (E_{DfA}) che consente di valutare numericamente la bontà di un assemblaggio e di comparare diverse soluzioni:

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}}$$

In questa formula oltre T_{eff} , che è stato appena definito, sono presenti altri due fattori: t_{min} , cioè il tempo minimo necessario per l'assemblaggio senza particolari difficoltà di trasporto (solitamente si utilizza 3 s), e N_{min} , cioè il numero minimo di parti utilizzate in una situazione ideale in cui le differenti parte sono combinate. Successivamente sono descritte le tabelle di manipolazione e inserimento descritte da Boothroyd.

TEMPI DI MANIPOLAZIONE

Prima di analizzare le tabelle dei tempi di manipolazione è necessario definire i parametri da cui dipendono fortemente.

I primi fattori sono α e β cioè gli angoli di inserimento di cui l'oggetto deve essere ruotato per ripetere la sua orientazione: il primo è riferito all'asse perpendicolare a quello di inserimento mentre il secondo a quello coincidente.

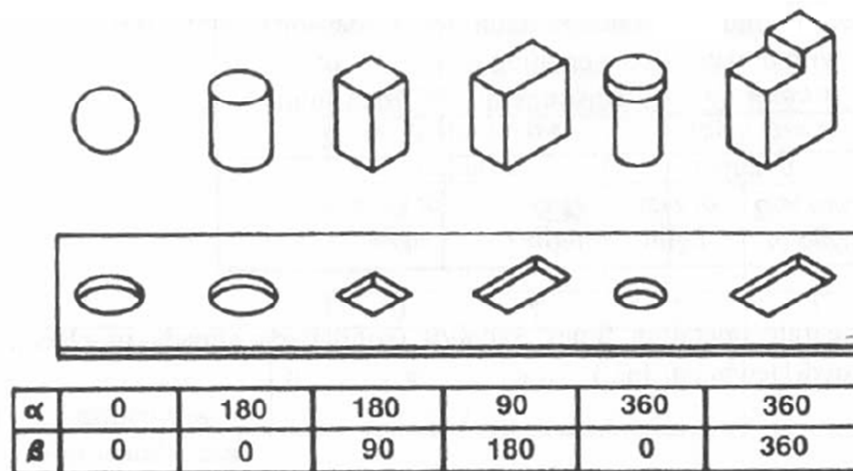


Figura 5-1: Esempi di angoli α e β

Gli altri due parametri sono lo spessore (sp.) e la dimensione maggiore del componente (D) nella Figura 5-2 sono presenti alcuni esempi.

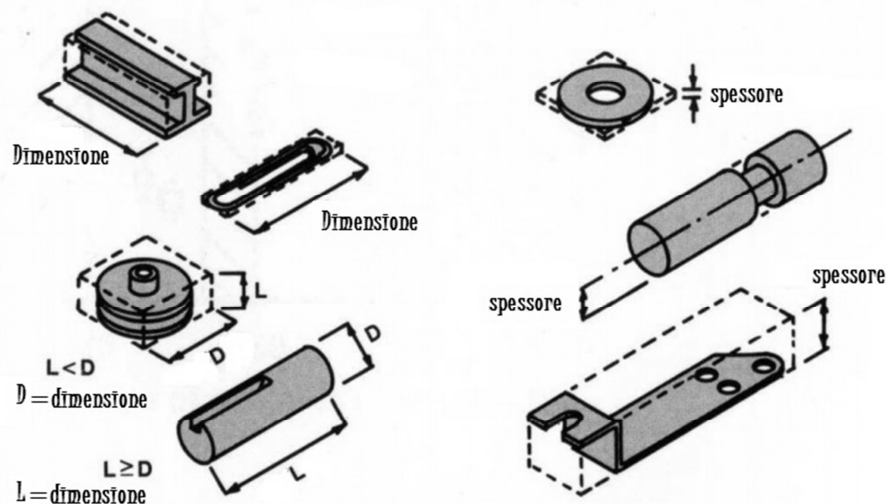


Figura 5-2: Esempi e definizione di spessore e Dimensione

Nelle tabelle successive sono catalogati i diversi tempi di manipolazione in secondi.

	Sp. [mm]	Parti di semplice manipolazione					Parti di complessa manipolazione				
		> 2			≤ 2		> 2			≤ 2	
		D [mm]	> 15	≥ 6 < 15	< 6	> 6	≤ 6	> 15	≥ 6 < 15	< 6	> 6
$\alpha+\beta$		<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>
<360°	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
≥360° <540°	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
≥540° <720°	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
=720°	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

Tabella 5-1: T. manipolazione per parti afferrabili e manipolabili con una mano senza attrezzi

		Parti che necessitano pinzette per l'afferraggio e la manipolazione								parti che necessitano di oggetti standard oltre le pinzette	parti che necessitano di oggetti speciali per l'afferraggio	
		Parti che possono essere manipolate senza l'ausilio di ingrandimenti ottici				Parti che possono essere manipolate solo con l'ausilio di ingrandimenti ottici						
		Parti semplici da manipolare ed afferrare		Parti con difficoltà di manipolazione		Parti semplici da manipolare ed afferrare		Parti con difficoltà di manipolazione				
		Sp. [mm]	>0.25	≤0.25	>0.25	≤0.25	>0.25	≤0.25	>0.25			≤0.25
α	β	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	
≤ 180°	≥ 0° < 180°	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
	= 360°	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
= 360°	≥ 0° < 180°	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
	= 360°	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10

Tabella 5-2: T. manipolazione per parti afferrabili e manipolabili con una mano ma con l'aiuto di oggetti di afferraggio

D [mm]	Parti che non presentano ulteriori difficoltà di manipolazione					Parti che presentano ulteriori difficoltà di manipolazione (es. delicati, appiccicosi, scivolosi ecc)				
	$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$		$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$	
	> 15	≥ 6 < 15	≤ 6	>6	≤ 6	> 15	≥ 6 < 15	≤ 6	> 6	≤ 6
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7

Tabella 5-3: T. manipolazione per parti che si aggrovigliano facilmente o sono molto flessibili ma che possono essere afferrate e spostate con una mano (se necessario usando oggetti di afferraggio)

Parti che possono essere manipolate da una sola persona senza l'aiuto di macchinari										parti che necessitano di oggetti speciali per la manipolazione
parti non flessibili o che non si aggrovigliano facilmente									flessibili o che si aggrovigliano	
parti leggere (< 4.54 kg)					parti pesanti (> 4.54 kg)					
Parti semplici da manipolare ed afferrare			Parti con difficoltà di manipolazione		Parti semplici da manipolare ed afferrare		Parti con difficoltà di manipolazione			
α	$\leq 180^\circ$	$= 360^\circ$	$\leq 180^\circ$	$= 360^\circ$	$\leq 180^\circ$	$= 360^\circ$	$\leq 180^\circ$	$= 360^\circ$		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Tabella 5-4: T. manipolazione per parti che richiedono due mani per l'afferraggio e il trasporto.

TEMPI DI INSERIMENTO

I parametri che regolano i tempi di inserimento sono molto vari ma principalmente sono legati alla visione ostruita, alla tipologia di unione (saldatura, avvitamento, incollaggio ecc.) e all'accesso difficoltoso di montaggio.

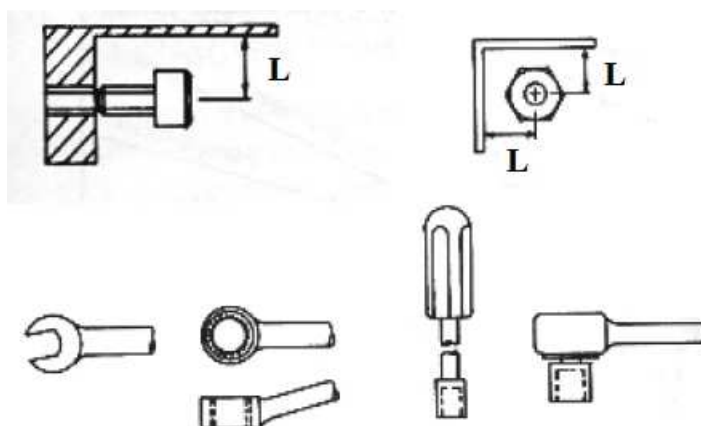


Figura 5-3: Esempi di visuale ostruita e accesso difficoltoso con possibili soluzioni di montaggio

Nelle tabelle successive sono catalogati i diversi tempi di inserimento in secondi.

dopo l'assemblaggio non necessita di mantenere l'orientamento e la posizione				dopo l'assemblaggio necessita di mantenere l'orientamento e la posizione			
allineamento e posizionamento semplice durante l'assemblaggio		allineamento e posizionamento difficile durante l'assemblaggio		allineamento e posizionamento semplice durante l'assemblaggio		allineamento e posizionamento difficile durante l'assemblaggio	
nessuna resistenza durante l'inserimento	resistenza durante l'inserimento	nessuna resistenza durante l'inserimento	resistenza durante l'inserimento	nessuna resistenza durante l'inserimento	resistenza durante l'inserimento	nessuna resistenza durante l'inserimento	resistenza durante l'inserimento
0	1	2	3	6	7	8	9
0 <i>Parti e oggetti associati (comprese le mani) che possono essere semplicemente portati nella posizione desiderata</i>							
1.13	1.43	1.88	1.69	2.17	2.65	2.45	2.98
1 <i>Parti e oggetti associati (comprese le mani) che NON possono essere semplicemente portati nella posizione desiderata a causa di accesso ostruito O visuale ristretta</i>							
1.5	1.8	2.25	2.06	2.57	3.06	3	3.38
2 <i>Parti e oggetti associati (comprese le mani) che NON possono essere semplicemente portati nella posizione desiderata a causa di accesso ostruito E visuale ristretta</i>							
1.8	2.1	2.55	2.36	2.9	3.38	3.18	3.7

Tabella 5-5: T. inserimento se nessuna delle parti o di quelle ad esse collegate sono bloccate immediatamente in modo finale

	Nessuna operazione di avvvitamento o deformazione plastica (molle, snap-fit ecc.)		deformazione plastica immediatamente dopo l'inserimento					Serraggio vite immediatamente dopo l'inserimento		
			curvatura plastica o torsione		rivetto o operazione simile					
			allineamento e posizionamento semplice durante l'assemblaggio	allineamento e posizionamento complesso durante l'assemblaggio		allineamento e posizionamento semplice durante l'assemblaggio	allineamento e posizionamento complesso durante l'assemblaggio			
resistenza all'inserimento	senza resistenza all'inserimento	resistenza all'inserimento		senza resistenza all'inserimento						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	<i>Parti e oggetti associati (comprese le mani) che possono essere semplicemente portati nella posizione desiderata</i>									
	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
4	<i>Parti e oggetti associati (comprese le mani) che NON possono essere semplicemente portati nella posizione desiderata a causa di accesso ostruito O visuale ristretta</i>									
	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
5	<i>Parti e oggetti associati (comprese le mani) che NON possono essere semplicemente portati nella posizione desiderata a causa di accesso ostruito E visuale ristretta</i>									
	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12

Tabella 5-6: T. inserimento se la parte e/o quelle ad essa collegata sono bloccate immediatamente in modo finale

	processo meccanico di assemblaggio (parti già posizionate ma non bloccate immediatamente dopo l'inserimento)				processo non meccanico di assemblaggio (parti già posizionate ma non bloccate immediatamente dopo l'inserimento)				processo di non assemblaggio	
	deformazione plastica nulla o localizzata			Snap-fit, press-fit ecc.	processo metallurgico			processo chimico (es. adesivo)	manipolazioni delle parti o sotto-assemblaggio (orientamento o aggiustamento parti)	altri processi (inserimento liquido)
	piegatura o processi simili	rivetti o processi simili	serraggio vite o processi simili		nessun materiale aggiuntivo richiesto (es. forzamento)	materiali aggiuntivi richiesti				
						processo di saldatura	processo di brasatura			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
9	4	7	5	3.5	7	8	12	12	9	12

Tabella 5-7: T. inserimento per processi di assemblaggio dove tutte le parti solide sono in posizione

5.1 Applicazione per barriere antirumore

Uno dei problemi principali delle barriere antirumore è il tipo di chiusura in quanto il bloccaggio a baionetta non è del tutto efficace. Come si è visto sono necessari degli elementi di supporto al bloccaggio come le maschere in polipropilene o l'utilizzo di viteria. Nel primo caso i tempi di montaggio sono accettabili ma bisogna utilizzare un componente che non abbia una resistenza meccanica molto elevata. Nel secondo caso invece la resistenza risulta elevata ma i tempi di assemblaggio, il peso e l'ingombro risultano notevolmente incrementati. Il sistema di montaggio a baionetta comporta inoltre inevitabili giochi tra le lamiere e quindi il formarsi di piccoli interstizi in cui si possono inserire liquidi che potrebbero danneggiare la struttura.

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
pannello	1	10	1.50	40	4.50	6.00	1
pannello forato	1	10	1.50	40	4.50	6.00	1
maschera PP sx	1	10	1.50	31	5.00	6.50	1
maschera PP dx	1	10	1.50	31	5.00	6.50	1
tot.						25.00	4

Tabella 5-8: Tempi di assemblaggio barriera antirumore standard

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}} = \frac{3.00 [s/p] \times 4 [p]}{25.00 s} = 48\%$$

Le maggiori criticità si riscontrano nel sistema di bloccaggio al montante. Nel caso di fermapanello a C a causa della presenza di bulloneria i tempi di montaggio, il peso e l'ingombro sono decisamente elevati.

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
barriera	1	10	1.50	07	2.65	4.15	1
Gomma	2	10	1.50	97	12.00	27.00	2
profili a C	4	10	1.50	06	2.17	14.68	4
rosetta	8	03	1.69	40	4.50	49.52	0
dado	8	01	1.43	92	5.00	51.44	4
vite	4	00	1.13	00	1.13	9.04	4
tot.						155.83	15

Tabella 5-9: Tempi di assemblaggio barriera con fermapanello a C

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}} = \frac{3.00 [s/p] \times 15 [p]}{155.83 s} = 28.88\%$$

Invece nel caso di fermapannello saldato la precisione dovrà essere molto elevata e si avranno ancora tempi molto lunghi.

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
barriera	1	10	1.50	07	2.65	4.15	1
Gomma	2	10	1.50	97	12.00	27.00	2
barra metallica	2	10	1.50	95	8	19.00	2
					tot.	50.15	5

Tabella 5-10: Tempi di assemblaggio barriera con fermapannello saldato

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}} = \frac{3.00 [s/p] \times 5 [p]}{50.15 s} = 29.91\%$$

5.1.1 Maschera di chiusura delle barriere (BFT3)

Il primo progetto sviluppato è un sistema di chiusura delle barriere antirumore alternativo a quello classico a baionetta. La barriera è composta da due pannelli, uno forato ed uno pieno, che vengono posti uno contro l'altro. Successivamente superiormente ed inferiormente sono agganciate due maschere in modo da chiudere con un accoppiamento a scatto i pannelli. La particolarità di questa applicazione è proprio il serraggio utilizzato: non è uno Snap-fit classico di dimensioni ridotte a forma di uncino ma è la lamiera stessa, che dopo un'opportuna piegatura, unisce i pannelli. Le ali della lamiera ad U sono il vero e proprio lo Snap-fit, allargandosi abbracciano i due pannelli ed in fase di chiusura bloccano il sistema in posizione. Questo progetto permette un montaggio molto veloce ed uno smontaggio altrettanto rapido per la sostituzione del materiale interno ai pannelli e del pannello stesso.

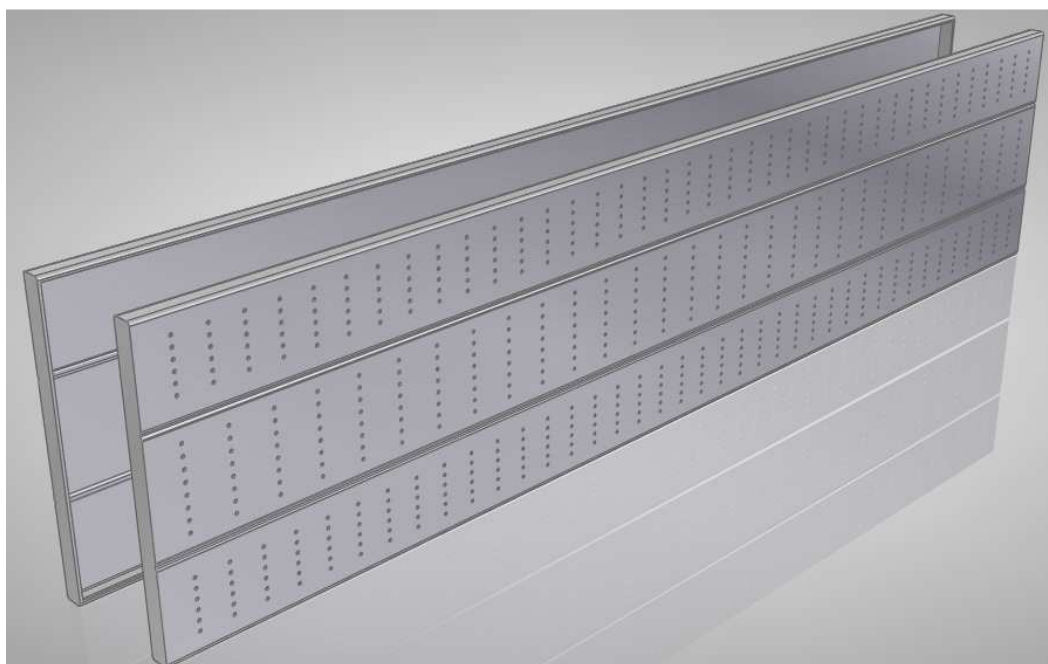


Figura 5-4: Pannelli laterali barriera antirumore



Figura 5-5: Maschera Snap-fit

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
pannello	1	10	1.50	06	2.17	3.67	1
pannello forato	1	10	1.50	06	2.17	3.67	1
maschera	2	10	1.50	93	3.50	10.00	2
						tot.	4

Tabella 5-11: Tempi di assemblaggio barriera antirumore riprogettata

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}} = \frac{3.00 [s/p] \times 4 [p]}{17.34 s} = 69.20\%$$

A questo punto è possibile comparare il risultato appena ottenuto con quello standard:

$$E_{DfA_standard} = 48,00 \%$$

$$E_{DfA_BFT3} = 69,20 \%$$

Si ha quindi un incremento di efficienza nel caso riprogettato. Secondo la metodologia Boothroyd il progetto BFT3 risulta valido.

5.1.2 Dispositivo Snap-fit Bloccaggio Barriere (DSBB)

La larghezza della barriera è molto più piccola dell'interasse tra le ali del montante della struttura di sostegno: una barriera troppo spessa sarebbe inutilmente pesante mentre un profilo più piccolo non garantirebbe la resistenza necessaria a rendere stabile la struttura. Le alternative presenti attualmente in commercio, la bulloneria per il bloccaggio o la saldatura di un piatto per ridurre lo spazio, presentano criticità intrinseche delle tecnologie quali tempi lunghi e aumento del peso totale. Il sistema di bloccaggio studiato in questo secondo progetto potrebbe ridurre notevolmente i tempi di montaggio.

Il principio si basa sull'utilizzo di tre blocchetti con ai lati due Snap-fit ad uncino. Sulla barriera e sulla trave HEA (che funge da montante) sono ricavate delle piccole tasche rettangolari che fungeranno da sedi degli Snap-fit stessi. Frontalmente al blocchetto è presente un particolare a tronco di cono necessario per il puntamento del pezzo. La barriera a montaggio completato andrà in battuta da un lato su i tre dispositivi di bloccaggio e dall'altro sulla striscia di gomma EDM. Quest'ultima ridurrà almeno in parte le vibrazioni indotte del vento e dalle onde sonore.

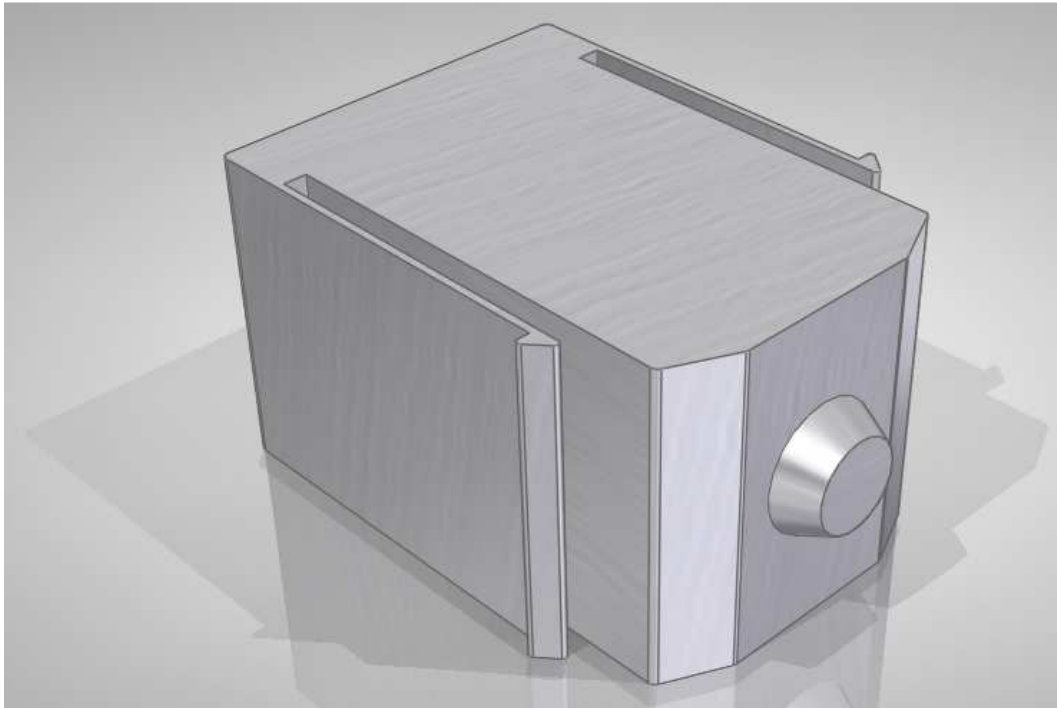


Figura 5-6: Dispositivo Snap-fit bloccaggio barriere

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
pannello	1	10	1.50	07	2.65	4.15	1
gomma	2	10	1.50	97	12.00	27.00	2
DSBB	3	10	1.50	93	3.50	15.00	3
					tot.	46.15	6

Tabella 5-12: Tempi assemblaggio con dispositivo bloccaggio barriere riprogettato

$$E_{DfA} = \frac{t_{\min} \times N_{\min}}{T_{\text{eff}}} = \frac{3.00 \text{ [s/p]} \times 6 \text{ [p]}}{46.15 \text{ s}} = 39.00\%$$

Anche in questo è possibile comparare i vari valori di efficienza:

$$E_{DfA_saldatura} = 29.91 \%$$

$$E_{DfA_viteria} = 28.88 \%$$

$$E_{DfA_DSBB} = 39.00 \%$$

In entrambi i casi l'assemblaggio con il dispositivo appena creato ha una efficienza maggiore.

5.2 Applicazione per pannelli per stand fieristici

Nel caso dell'utilizzo di pannelli in MDF la problematica maggiore è quella legata al suo deterioramento fisico e a quello delle vernici. Per renderlo ignifugo si procede alla verniciatura con prodotti speciali che rendono il pannello resistente al fuoco. Queste vernici dopo qualche utilizzo possono perdere il proprio potere isolante rendendo necessaria una manutenzione frequente. Inoltre i pannelli in MDF sono poco resistenti: durante le fasi di smontaggio, che per ragioni di costi devono essere molto brevi, capita spesso che gli angoli dei pannelli si rovinino rompendosi o perdendo la vernice applicata. È quindi necessario riverniciare ad ogni utilizzo i pannelli e stuccare gli angoli rovinati.



Figura 5-7: Difetti dovuti all'utilizzo. Rottura degli spigoli (A) e deterioramento facciata e verniciatura (B)

La manutenzione è uno dei costi maggiori per una ditta che acquista o che noleggia questo tipo di attrezzature: spesso è più conveniente comprare pannelli nuovi piuttosto che riparare quelli in possesso. Utilizzando pannelli metallici invece non è più necessario l'utilizzo di vernici speciali ignifughe e la resistenza dei componenti è notevolmente superiore. Lo svantaggio di questa tipologia è legata al fatto che il montaggio attraverso bulloneria è molto lungo e che il peso aumenta notevolmente. Quest'ultimo effetto porta ad un incremento delle spese di trasporto dei pannelli. La maggiore resistenza e resistenza al fuoco quindi non sono qualità sufficienti per la scelta dei pannelli metallici a discapito di quelli in MDF.

Un aspetto critico comune ad entrambe le tipologie è quello legato al peso e quindi agli operatori che dovranno montare la struttura. Ogni pannello ha una massa relativamente alta, circa 8 kg per quelli in MDF, quindi il sollevamento di tre moduli collegati può essere un lavoro non del tutto privo di rischi: alzare una piccola parete, spesso con posizioni non corrette, può provocare danni, seppur di lieve entità, alla schiena dell'operatore. Inoltre l'utilizzo delle scale comporta tutti i rischi derivanti dal lavoro in quota.

Come detto precedentemente una gran fetta del mercato dei pannelli è occupata dai pannelli in MDF per motivi strettamente legati al trasporto e alla loro leggerezza. Per far sì che i pannelli metallici vengano preferiti ai primi sono necessari alcuni accorgimenti come la riduzione della tempistica e la praticità di montaggio, l'aggiunta di funzionalità rispetto ai pannelli classici e una grande versatilità nella personalizzazione del prodotto.

I componenti studiati che verranno descritti successivamente fanno parte di un progetto generale che prevede la realizzazione di una nuova tipologia di pannello:

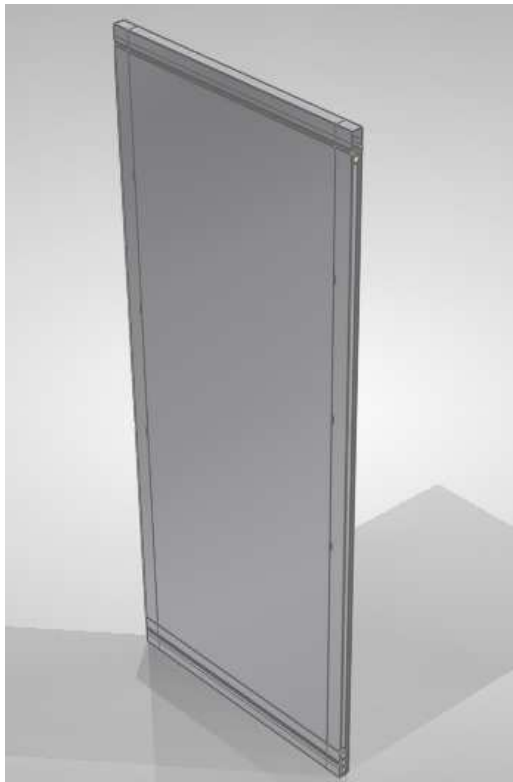


Figura 5-8: Pannello in alluminio

un profilo in alluminio con all'interno una schiuma isolante ignifuga con diversi accessori per concentrare in poco spazio gran parte dei componenti necessari in una fiera.

Il profilo è stato pensato appositamente per le applicazioni che dovrà svolgere e per le caratteristiche richieste. La prima è senza dubbio quella di creare un materiale relativamente leggero quindi sarà cavo con uno spessore di 1,00 mm. La forma particolare ottenuta attraverso processi di estrusione e successivamente di piegatura invece è volta a fungere da sede per gli Snap-fit di collegamento. L'alluminio inoltre è molto più resistente del MDF quindi si avrà una resistenza maggiore agli urti e all'usura data dal tempo, dalle condizioni ambientali e il cattivo utilizzo.

La criticità maggiore è data dalla massa finale che risulta molto elevata: un pannello di dimensioni 2,5 m x 1m pesa circa 20 kg, nonostante lo spessore molto piccolo delle pareti. Questo problema, legato al costo maggiore rispetto a quelli in legno, rende il pannello in alluminio meno appetibile di quelli in altri materiali già presenti sul mercato: sono necessarie altre caratteristiche oltre all'aumento di resistenza meccanica e al fuoco.

Si è quindi deciso di apportare alcune modifiche al pannello. La prima è l'integrazione di tubazioni in PVC. Uno dei problemi riscontrati nell'allestimento



delle fiere è quello di nascondere i diversi cavi elettrici che vengono utilizzati per insegne luminose, luci e PC. Spesso è necessario ricorrere a multiprese elettriche o a portacavi esterni che non sono gradevoli dal punto di vista estetico. Tre tubi in PVC nella parte inferiore e uno nella parte superiore (con la possibilità di aggiungerne ulteriori) soddisfano la necessità di raggruppare e nascondere alla vista i cavi.

Figura 5-9: Particolare pannello: tubazioni in PVC

Intrinsecamente l'alluminio si presta molto facilmente alla verniciatura e alla personalizzazione con pitture lavabili, inoltre è possibile applicare banner pubblicitari in MDF o in Forex.

Come nel caso delle barriere antirumore si procede con l'analisi di efficienza.

La prima è riferita al montaggio a terra: i 3 pannelli uniti tra di loro con l'imbullonamento della barretta metallica vengono sollevati e fissati a terra tramite degli angolari.

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
pannello	3	94	3.00	07	2.17	15.51	3
angolare	6	30	1.95	40	4.50	38.70	6
viti	12	00	1.50	92	5.00	78.00	12
					tot.	132.21	21

Tabella 5-13: Tempi di assemblaggio verticale pannelli in MDF

$$E_{DfA} = \frac{t_{\min} \times N_{\min}}{T_{\text{eff}}} = \frac{3.00 \text{ [s/p]} \times 21 \text{ [p]}}{132.21 \text{ s}} = 47.65\%$$

La seconda invece è riferita al collegamento tra pannelli: i due pannelli vengono collegati tra loro da due barre metalliche forate (una superiore ed una inferiore) e vengono posti dei blocchetti in MDF centralmente.

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
pannello	2	94	3.00	07	2.17	10.34	2
barra	2	10	1.50	30	2.00	7.00	2
MDF	3	10	1.50	31	5.00	19.50	0
viti	8	00	1.50	38	6.00	60.00	8
tot.						96.84	12

Tabella 5-14: Tempi di collegamento pannelli in MDF

$$E_{DfA} = \frac{t_{\min} \times N_{\min}}{T_{\text{eff}}} = \frac{3.00 \text{ [s/p]} \times 12 \text{ [p]}}{96.84 \text{ s}} = 37.17\%$$

5.2.1 Zoccolino Snap-fit per Pannelli (ZPT1)

Il terzo progetto sviluppato è quello dello zoccolino per stand fieristici. Nasce dall'esigenza di avere un montaggio pratico e semplice per i pannelli in alluminio. Il principio è simile a quello della maschera per barriera antirumore: una lastra di alluminio viene piegata creando un profilo ad U e le ali vengono opportunamente sagomate in modo da formare degli Snap-fit che si inseriranno nel pannello. Lo zoccolino verrà vincolato a terra con due viti e, successivamente, con il solo peso del pannello, le ali si fletteranno elasticamente fino a bloccare in posizione la parete.

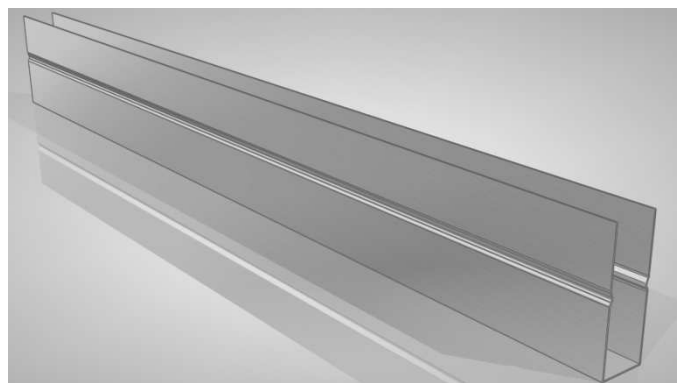
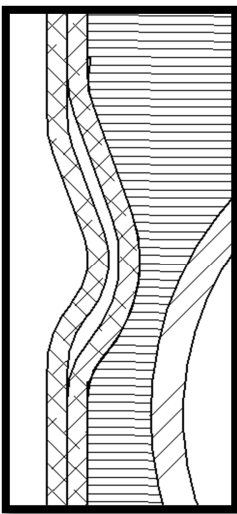


Figura 5-10: Zoccolino Snap-fit

Figura 5-11: Particolare montaggio Zoccolino-Pannello

Lo zoccolino può anche essere posto superiormente, sfalsato rispetto ai pannelli per rinforzare ulteriormente il collegamento tra i pannelli. Per permettere questo le piegature di Snap-fit e sede saranno diverse: lo zoccolino e il pannello potranno scorrere uno relativamente all'altro se applicata una forza volontariamente.

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime	
pannello	1	94	3.00	07	2.17	5.17	1	
zoccolino	1	94	3.00	93	3.50	6.50	1	
viti	2	10	1.50	92	5.00	13.00	2	
						tot.	24.67	4

Tabella 5-15: Tempi assemblaggio verticale con Zoccolino Snap-fit

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}} = \frac{3.00 [s/p] \times 4 [p]}{24.67 s} = 48.64\%$$

Anche in questo è possibile comparare i vari valori di efficienza:

$$E_{DfA_angolari} = 47.65 \%$$

$$E_{DfA_zoccolino} = 48.64 \%$$

Seppur modesto si ha un incremento di efficienza nel secondo caso. Il vantaggio è dato dal bloccaggio superiore che non richiede viteria, dalla possibilità di sfalsare i profili ed avere un zoccolino gradevole esteticamente che può fungere anche da battiscopa

5.2.2 Sistema bloccaggio pannelli (CPTxx)

L'ultimo progetto sviluppato è un sistema di collegamento tra pannelli. Le varianti di questo dispositivo di bloccaggio sono due: una è più semplice e leggera mentre l'altra è più pesante ma robusta. Entrambe le soluzioni sono valide per collegare i pannelli e funzionano nello stesso modo utilizzando due Snap-fit per lato. Esso verrà inserito all'interno del profilo in corrispondenza delle cavità create in precedenza che fungeranno da sedi.

a) Dispositivo Pieno (CPT2A)

La variante più robusta definita “dispositivo piena” è un blocchetto rettangolare in cui è presente un’asola centrale per la riduzione del peso. Sono presenti due Snap-fit per lato che con una modesta forza si fletteranno agevolmente fino a bloccare il dispositivo in posizione. La parte centrale a presenta uno svasso che oltre a fungere da guida, bloccherà in posizione il dispositivo permettendo che si incastrino nell’altro profilo senza muoversi e senza la necessità di essere tenuto fermo.

b) Dispositivo Piastra (CPT3)

La variante più leggera e semplice è definita “dispositivo Piastra” in quanto una possibile modalità di realizzazione è quella di eseguire la saldatura di due piastre identiche piegate. Inizialmente questa tipologia è stata pensata come prototipo del dispositivo pieno ma risulta comunque efficace per il bloccaggio di 2 pannelli. Il funzionamento è lo stesso del precedente: le due ali sono libere di inflettersi in maniera elastica e ritornano in posizione alla fine della corsa del dispositivo mentre la piega centrale permette di bloccare in posizione il pezzo incastrandolo tra le pareti del pannello. In questo caso la sezione resistente sarà minore di quella della variante principale ma il peso verrà dimezzato con evidenti vantaggi.

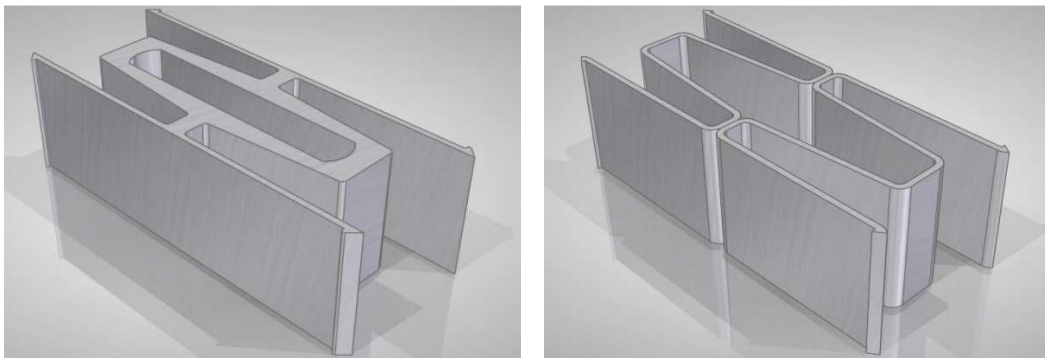


Figura 5-12: Collegamento pannelli CPT2A (sx) e CPT3 (dx)

Essendo il funzionamento di assemblaggio comune tra i dispositivi ed avendo dimensioni comparabili verrà eseguita una sola analisi di efficienza che varrà per entrambi

Parte	Q.tà	Codice manipolazione	t. manipolazione [s]	Codice inserimento	t. inserimento [s]	t. totale [s]	parti minime
pannello	2	94	3.00	07	2.17	10.34	2
CPTxx	3	10	1.5	33	5.00	19.50	3
tot.						29.84	5

Tabella 5-16: Tempi di collegamento con CPTxx

$$E_{DfA} = \frac{t_{min} \times N_{min}}{T_{eff}} = \frac{3.00 [s/p] \times 5 [p]}{29.84 s} = 50.27\%$$

Anche in questo è possibile comparare i vari valori di efficienza:

$$E_{DfA_barre} = 37.17 \%$$

$$E_{DfA_CPTxx} = 50.27 \%$$

In questo caso l'incremento è significativo e il nuovo metodo di collegamento dei pannelli risulta migliore sotto il punto di vista della praticità e della velocità di assemblaggio

Capitolo 6

Progettazione ed analisi F.E.M.

In questo capitolo verranno calcolati i parametri e analizzati i modelli ad elementi finiti delle soluzioni progettuali studiate. Gli elementi utilizzati sono di tipo 2D a sforzo piano con funzione di forma quadratica (CPS8). È stata effettuata questa scelta per ridurre notevolmente i tempi di analisi in quanto, soprattutto per la maschera e lo zoccolino, si avranno molti elementi finiti. I risultati ottenuti risultano comunque validi. Il numero di elementi utilizzati e la meshatura variano a seconda del caso analizzato e del tipo di superficie considerata (Master o Slave): in generale si ha una mesh più fitta nelle zone di interesse come i punti di contatto o dove si ipotizza la presenza dello sforzo maggiore. Per evitare compenetrazione tra i pezzi i contatti tra le superfici sono del tipo *node to surface* con mesh più fitta per le Slave e meno fitta per le Master. Sono state effettuate diverse prove con Step di tipo dinamico implicito e statico. Nel primo caso i grafici delle forze presentavano picchi associabili ad effetti secondari dinamici difficili da controllare, nel secondo invece questi effetti non erano presenti. Per ottenere quindi un'analisi più accurata si è deciso di analizzare con Step di tipo *Static* attivando l'opzione *NLgeom*, cioè di geometria non lineare. Infine per velocizzare ulteriormente l'analisi e la valutazione delle reazioni vincolari sono stati utilizzati dei *reference point* collegati direttamente alle superfici attraverso dei *coupling*.

Per ogni progetto sono stati valutati gli sforzi massimi, la flessione massima dell'uncino Snap-fit e la reazione vincolare. Il progetto risulta valido se questi tre parametri sono rispettivamente minori allo sforzo massimo, uguali al valore di progetto e comparabili alla forza di inserimento o smontaggio definita in fase di progettazione di massima.

6.1 Applicazione per barriere antirumore

6.1.1 Maschera di chiusura delle barriere (BFT3)

Per questo profilo si è scelto di utilizzare una lamiera in alluminio 3103 in modo da equilibrare le caratteristiche di resistenza ed elasticità. Le caratteristiche tecniche sono le seguenti:

R_{sn}	147,00 MPa
R_{mn}	163,00 MPa
E	69.000 MPa
A%	9,70
ρ	2,70 g/cm ³
ν	0,33
$\mu_{d\text{ all-all}}$	0,34

Tabella 6-1: Proprietà meccaniche Al 3103-H14

Per la valutazione dei valori minimi di L e di H è stato utilizzato il foglio di calcolo descritto nel capitolo 2.5. Come detto precedentemente i valori da inserire saranno quelli del materiale che sono appena stati descritti, gli angoli principali, la forza applicata, la larghezza e lo spostamento Y dello Snap-fit e il numero di componenti a scatto.

Gli Snap-fit sono entrambe le ali del profilo a U ($n_{\text{Snap-fit}}=2$) lunghe esattamente come la barriera. Ipotizzando che questa sia di lunghezza 2 m, si utilizza un valore di $B = 2.000,00$ mm. Questo assemblaggio è ideato per un solo operatore e per essere completato in maniera più semplice possibile: il carico totale da applicare per montare, e smontare, ciascuna maschera è pari a 50,00 N. Per lo stesso motivo gli angoli di assemblaggio e disassemblaggio non sono eccessivamente elevati:

$$\alpha = 25^\circ$$

$$\beta = 40^\circ$$

Per evitare deformazioni eccessive e per limitare gli spessori in gioco si è deciso di limitare a 2,00 mm lo spostamento Y dello Snap-fit. Una volta inseriti questi dati si ottengono i seguenti risultati:

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F_y	8,06	N	F_y	8,80	N
L_{min}	10,32	mm	L_{min}	10,63	mm
H	$0,0068*L$	mm	H	$0,0075*L$	mm

Tabella 6-2: Valori minimi BFT3

Come si può vedere la condizione più restrittiva è quella derivante dallo smontaggio del pezzo mentre il rapporto H/L_{min} è circa lo stesso. Imponendo un valore di lunghezza L pari a 140,00 mm si ottiene uno spessore H pari a 1,00 mm. Per questa applicazione è un valore del tutto soddisfacente.

Successivamente si procede con una modellazione ad elementi finiti come in Figura 6-1.

Come si può vedere, oltre alla semplificazione del modello 2D, si è deciso di sfruttare la simmetria del sistema riducendo ulteriormente il peso dell'analisi considerando soltanto la metà superiore dei pannelli.

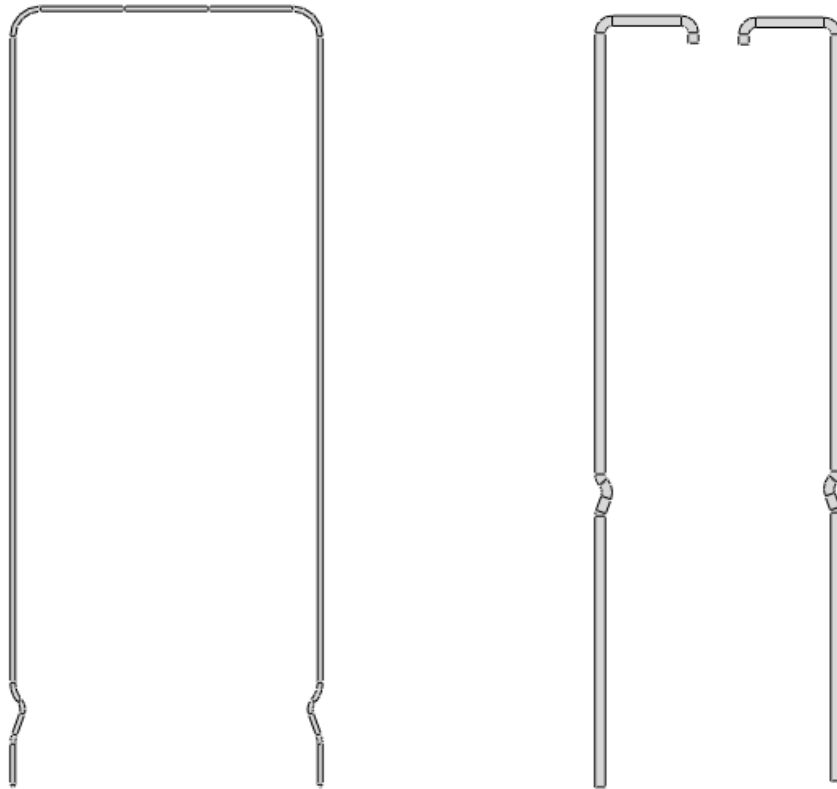


Figura 6-1: modellazione shell BFT3

Per l'analisi degli sforzi si è deciso di applicare un controllo in spostamento. Successivamente al posizionamento nello spazio si è imposto uno spostamento verticale in modo che la maschera andasse completamente a contatto con i due pannelli. Il vincolo di incastro dei pannelli è stato dato ad un punto collegato attraverso un *coupling* in modo da valutare in maniera immediata la reazione vincolare e quindi la forza necessaria per eseguire l'assemblaggio.

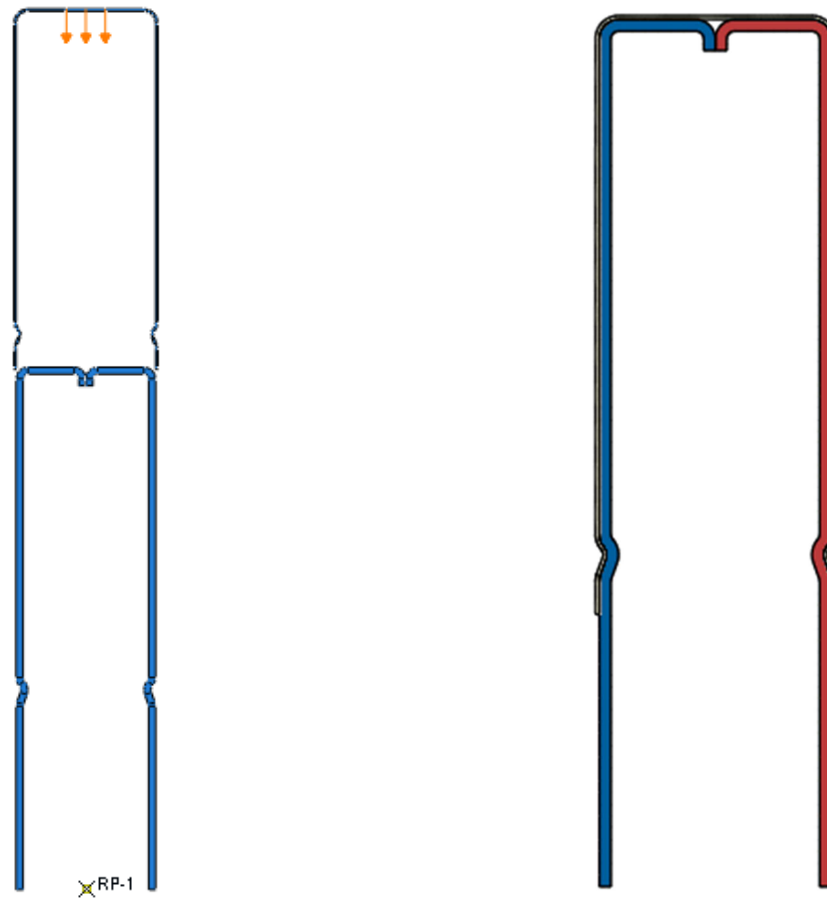


Figura 6-2: Posizione iniziale e finale BFT3

Il momento in cui lo sforzo sarà massimo avviene in corrispondenza quando le ali della maschera avranno raggiunto l'apertura massima.

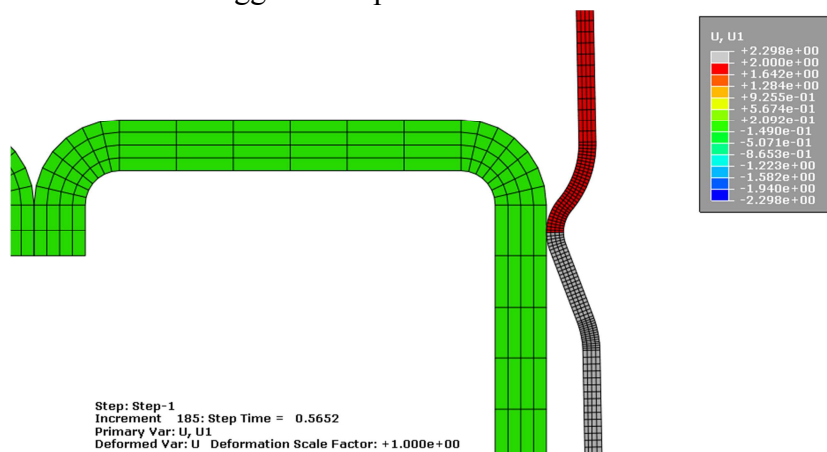


Figura 6-3: Massima flessione BFT3

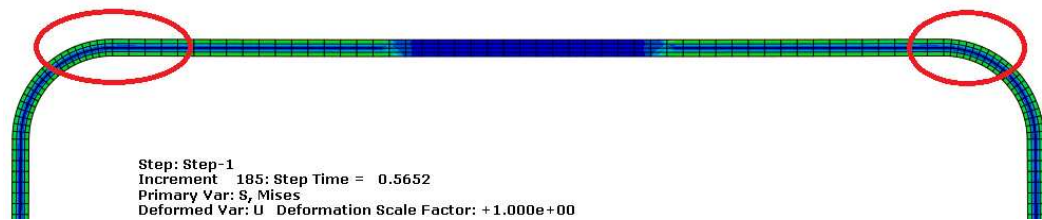


Figura 6-4: Posizione massimo sforzo BFT3

Come si evince dalla Figura 6-5 il valore massimo dello sforzo è pari a 7.998 MPa che risulta ben al di sotto del limite di snervamento del materiale.

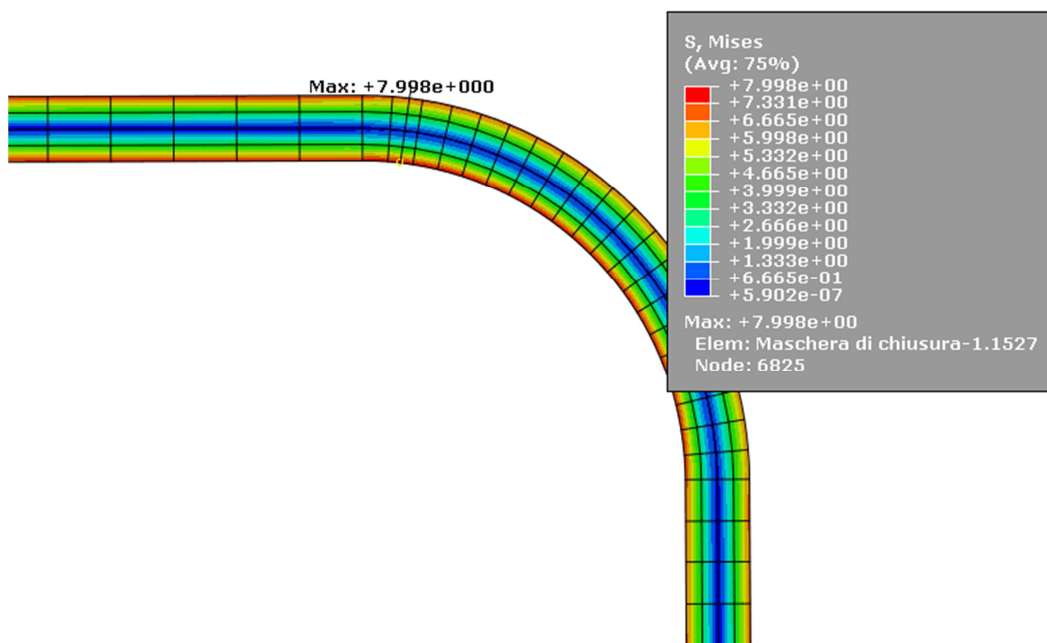


Figura 6-5: Sforzo massimo BFT3

L'ultimo valore da analizzare è la reazione vincolare e sarà utile per valutare l'andamento della forza necessaria per eseguire il montaggio e la bontà dei calcoli effettuati. Il valore da estrapolare dal grafico in figura è il punto massimo che risulterà in corrispondenza del momento in cui lo Snap-fit inizia ad essere flesso. Avendo utilizzato elementi di tipo shell questo valore di forza è espresso per unità di lunghezza (N/mm) quindi andrà moltiplicato per la lunghezza del pezzo.

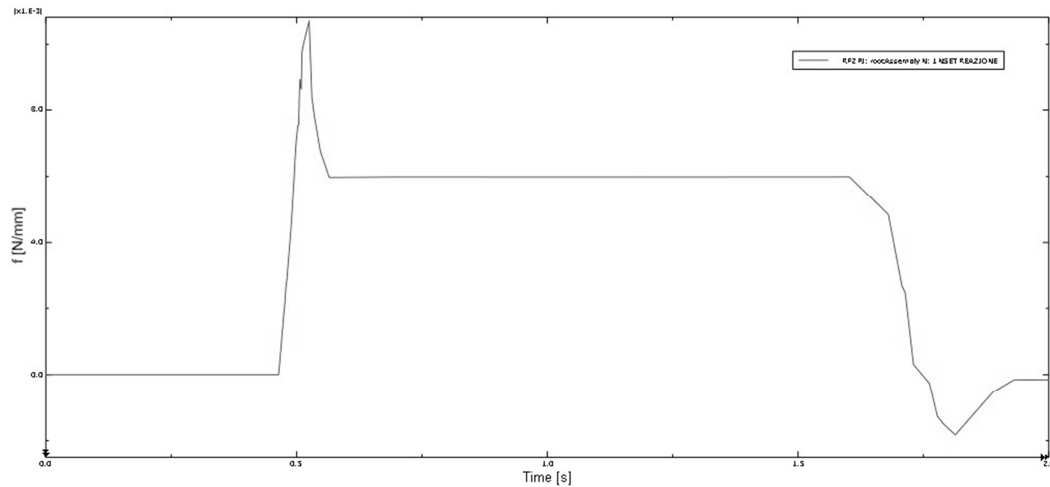


Figura 6-6: Reazione vincolare montaggio BFT3

Il valore massimo è pari a 0.0107 N/mm e avviene dopo 0,53 sec (cioè appena prima che lo Snap-fit raggiunga la flessione massima). Essendo la lunghezza della maschera pari a 2.000,00 mm.

$$f_{xB} = 0,0107 \times 2.000,00 = 21,4 \text{ N}$$

Come si può vedere il risultato è ben al di sotto del valore di progetto. Questa ampia differenza è data dal fatto che il profilo è relativamente lungo quindi entrano in gioco effetti secondari non prevedibili durante la progettazione di massima. La forza risultante è comunque inferiore e confrontabile con il valore imposto di 50,00 N.

Per ottimizzare l'analisi si è effettuata la fase di smontaggio nello stesso step di quella di montaggio. In questo caso essendo la reazione vincolare sarà negativa in quanto diretta in senso opposto è quindi necessario valutare il valore più basso, mentre la forza minima si raggiunge dopo 2,21 sec ed è pari a 0.0106

$$f_{xB} = 0,0106 \times 2.000,00 = 21,2 \text{ N}$$

Anche in questo caso, per gli stessi motivi di quello precedente, il risultato è al di sotto del valore di progetto.

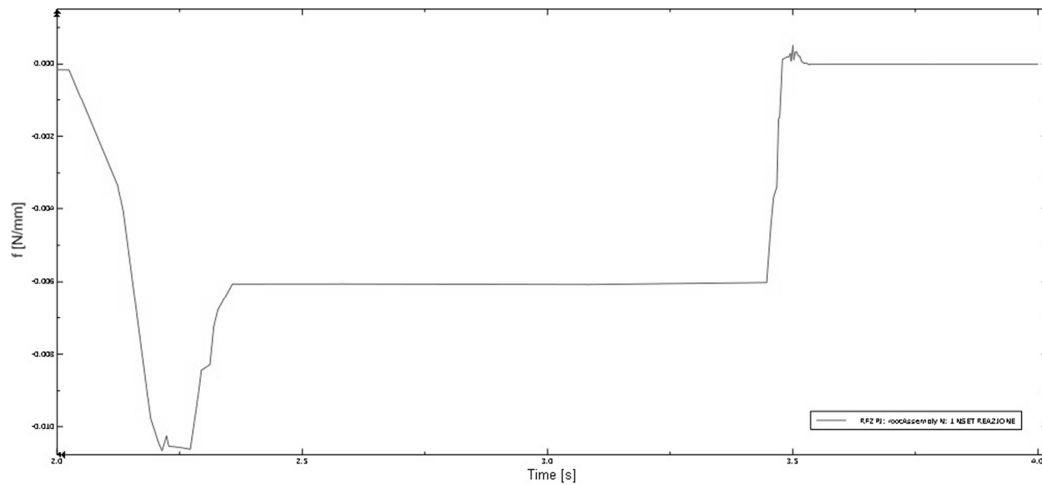


Figura 6-7: Reazione vincolare montaggio BFT3

6.1.2 Dispositivo Snap-fit Bloccaggio Barriere (DSBB)

In questo caso le forze in gioco saranno maggiori quindi si è scelto di utilizzare una lamiera in alluminio 6082 le cui caratteristiche tecniche sono le seguenti:

R_{sn}	260,00 MPa
R_{mn}	310,00 MPa
E	69.000 MPa
A%	10,00
ρ	2,70 g/cm ³
ν	0,33
μ_d all-all	0,34

Tabella 6-3: Proprietà meccaniche Al 6082

La struttura portante è un profilo di tipo HEA 140 in materiale acciaio strutturale S275:

R_{sn}	275,00 MPa
R_{mn}	430,00 MPa
E	210.000 MPa
A%	8,00
ρ	7,60 g/cm ³
ν	0,30
μ_d all-acc	0,47

Tabella 6-4: Proprietà meccaniche S275

La barriera utilizzata è quella ideata nel progetto della maschera di chiusura quindi sarà larga 62,00 mm. Date queste dimensioni il blocchetto dovrà essere largo 49,00 mm. Per evitare che il dispositivo possa avere dimensioni eccessive, e di conseguenza anche peso e costi, si è deciso di impostare l'altezza pari a 40 mm. Per agevolare l'inserimento si impone $F_{\text{mont}} = 20 \text{ N}$ e $\alpha = 40^\circ$, e che sia smontabile solo volontariamente, $\beta = 90^\circ$, e con una forza "significativa", $F_{\text{smont}} = 40 \text{ N}$. Anche in questo progetto per evitare deformazioni eccessive e per limitare gli spessori in gioco si è deciso di limitare a 2,00 mm lo spostamento Y dello Snap-fit. Una volta inseriti i dati nel foglio di calcolo si otterranno i seguenti risultati:

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F_y	1,62	N	F_y	20,00	N
L_{min}	12,59	mm	L_{min}	29,12	mm
H	$0,019 * L$		H	$0,0244 * L$	

Tabella 6-5: Valori minimi DSBB

Come si può vedere la condizione più restrittiva è quella derivante dallo smontaggio del pezzo mentre il rapporto H/L_{min} è circa il doppio. Imponendo un valore di lunghezza L pari a 41,00 mm si ottiene uno spessore H pari a 1,00 mm. Per questa applicazione è un valore del tutto soddisfacente.

Successivamente si procede con una modellazione ad elementi finiti ottenendo il modello in Figura 6-8.

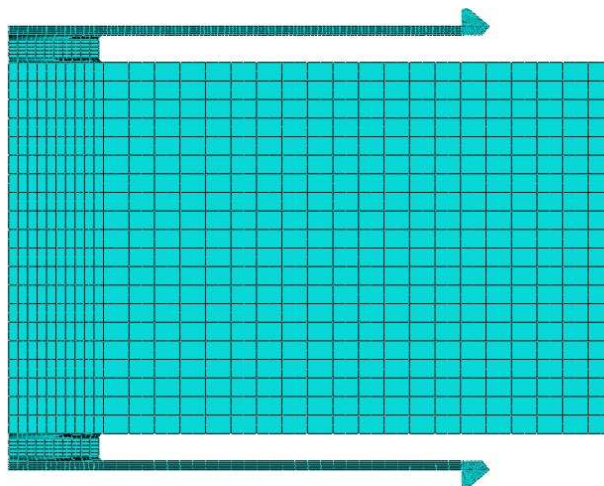


Figura 6-8: modellazione shell DSBB

Anche in questo caso si è deciso di sfruttare la simmetria del sistema considerando solo un quarto del montante e metà del pannello come visibile in Figura 6-9

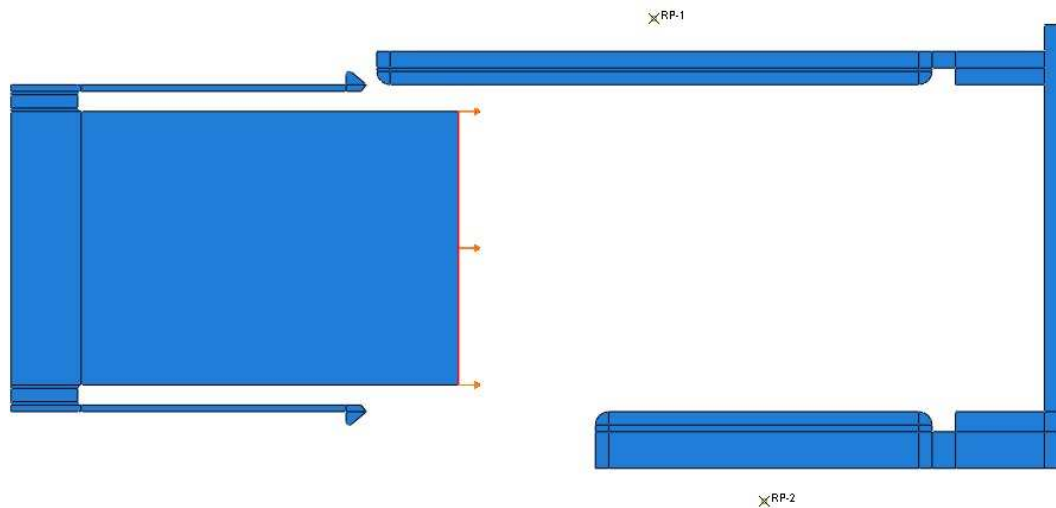


Figura 6-9: Posizione iniziale DSBB

Anche in questo caso per l'analisi degli sforzi si è deciso di applicare un controllo in spostamento. Il vincoli di incastro del pannello e del montante è stato dato a due punti collegati attraverso un *coupling*.

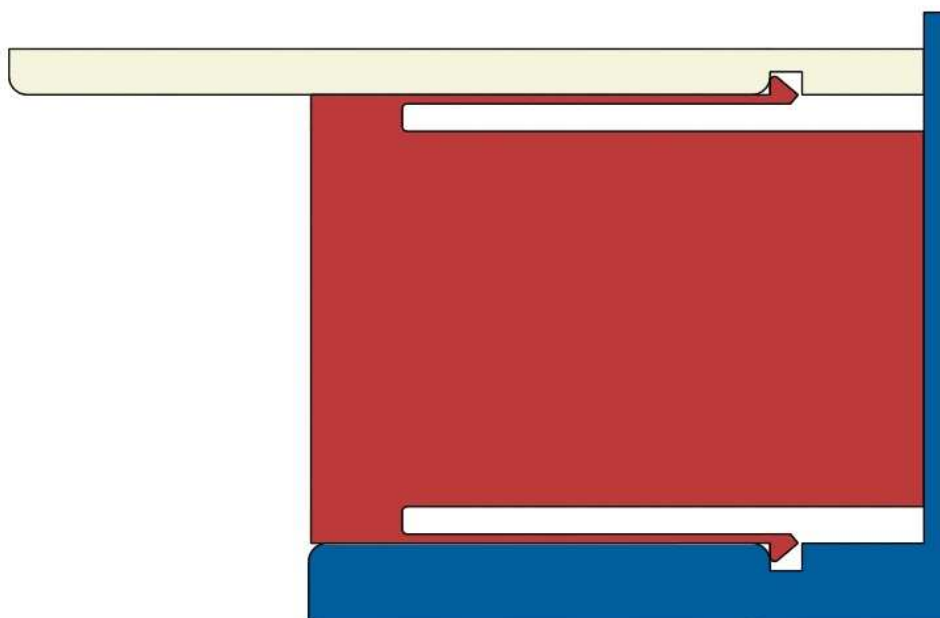


Figura 6-10: Posizione finale DSBB

Lo sforzo sarà massimo quando gli Snap-fit saranno piegati di $Y=2\text{mm}$.



Figura 6-11: Flessione massima DSBB

Come si evince dalla Figura 6-12 il valore di sforzo massimo è pari a 143,90 N; ben al di sotto dei valore di snervamento del materiale.

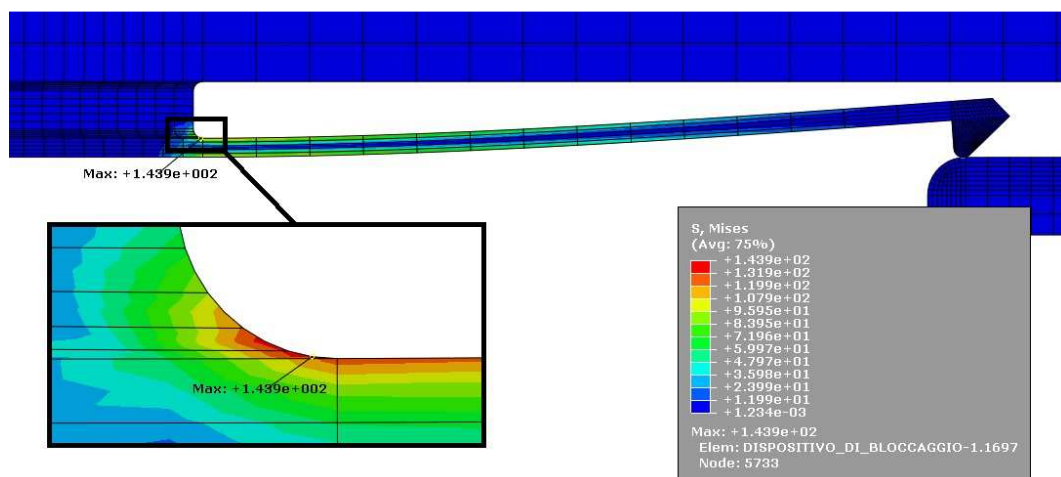


Figura 6-12: Momento massimo DSBB

Di seguito sono rappresentati gli andamenti della forza sul pannello (Figura 6-13) e sulla trave (Figura 6-14). Come si vede dalle figure i picchi di forza sono in posizione diversa in quanto lo Snap-fit entrerà in contatto prima col pannello e successivamente con il montante.

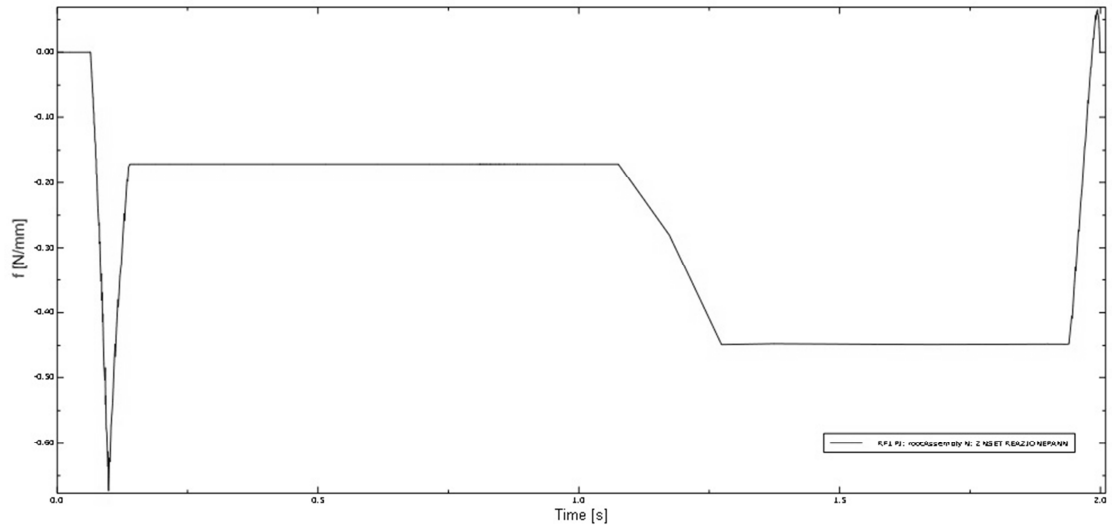


Figura 6-13: Reazione vincolare pannello DSBB

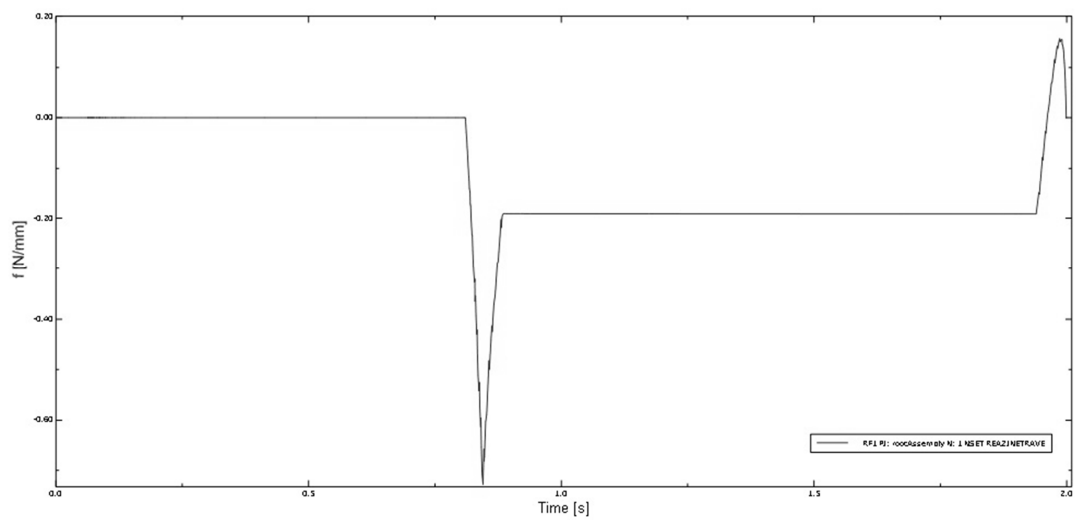


Figura 6-14: Reazione vincolare trave DSBB

Nel primo caso il valore massimo è pari a $f_1 = 0,673 \text{ N/mm}$ mentre nel secondo caso $f_2 = 0,727 \text{ N/mm}$. Essendo l'altezza del blocchetto pari a $40,00 \text{ mm}$.

$$f_1 \times B = 0,673 \times 40,00 = 26,92 \text{ N}$$

$$f_2 \times B = 0,727 \times 40,00 = 29,08 \text{ N}$$

Come si può vedere il valori sono entrambi confrontabili con la forza imposta di $20,00 \text{ N}$.

Per l'analisi degli sforzi di smontaggio è preferibile utilizzare il calcolo classico senza l'ausilio del metodo degli elementi finiti. La struttura è schematizzabile come una doppia mensola incastrata su cui viene ripartito uniformemente il carico totale $F = 40,00 \text{ N}$. Il momento massimo sarà uguale per entrambi gli uncini e sarà pari a:

$$M = \frac{F}{2} * L = \frac{40}{2} \text{ N} * 41 \text{ mm} = 820,00 \text{ Nmm}$$

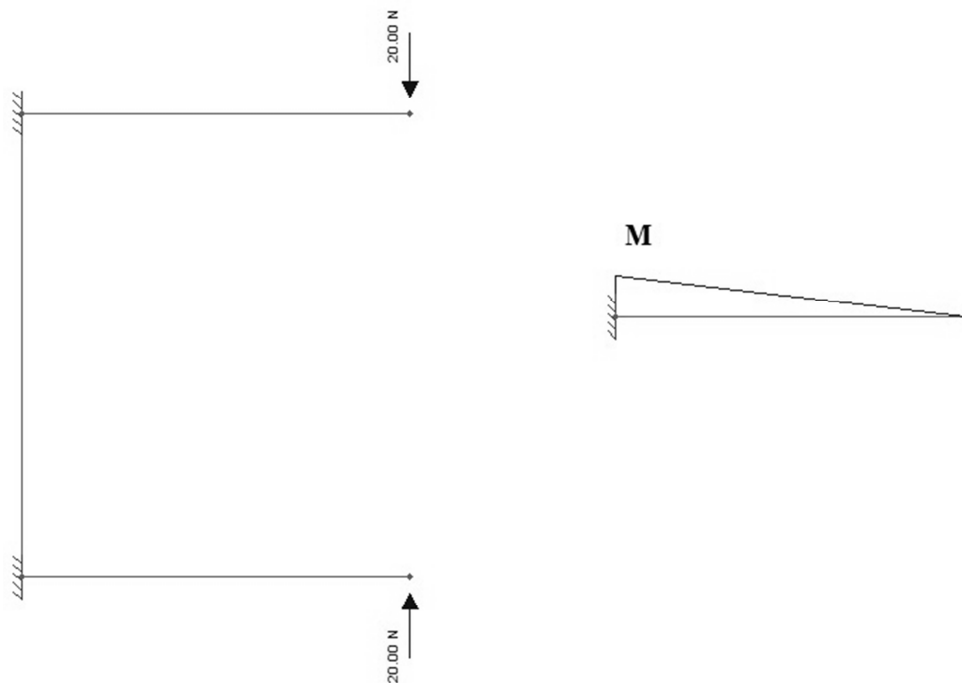


Figura 6-15: Analisi reazioni vincolari DSBB

La sezione rettangolare ha base $b= 30,00$ mm e altezza $h=1,50$ mm . Il modulo di inerzia sarà pari a:

$$J = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 30 * 1.5^3 = 8.44 \text{ mm}^4$$

Lo sforzo massimo considerando $y=h$ risulta:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{J} * \frac{y}{2} = \frac{820}{8.44} * 0.75 = 72.97 \text{ MPa}$$

Questo valore risulta accettabile

6.2 Applicazione per pannelli per stand fieristici

6.2.1 Zoccolino Snap-fit per Pannelli (ZPT1)

Per il terzo progetto sviluppato si è scelto di utilizzare un profilo in alluminio naturale 3103 H14. L'applicazione attuale è pensata per pannelli in alluminio in quanto il collegamento in Snap-fit legno-alluminio sarebbe quasi impossibile da realizzare. Il carico di assemblaggio e disassemblaggio sarà quindi pari al peso del pannello approssimato per eccesso e sarà pari a 200 N. Gli angoli sono stati scelti in modo che il montaggio sia molto semplice ed agevole e lo smontaggio non sia molto difficoltoso:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\beta = 40^\circ$$

Per evitare deformazioni eccessive e per limitare gli spessori in gioco si è deciso di limitare a 2,00 mm lo spostamento Y dello Snap-fit. Una volta inseriti questi dati si otterranno i seguenti risultati:

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F_v	35,85	N	F_v	36,25	N
L_{min}	21,39	mm	L_{min}	21,47	mm
H	0,014*L		H	0,014*L	

Tabella 6-6: Valori minimi ZPT1

Le soluzioni hanno lo stesso rapporto H/L_{min} . Imponendo un valore di lunghezza L pari a 69,50 mm si ottiene uno spessore H pari a 1,00 mm.

Successivamente si procede con una modellazione ad elementi finiti come in Figura 6-16.

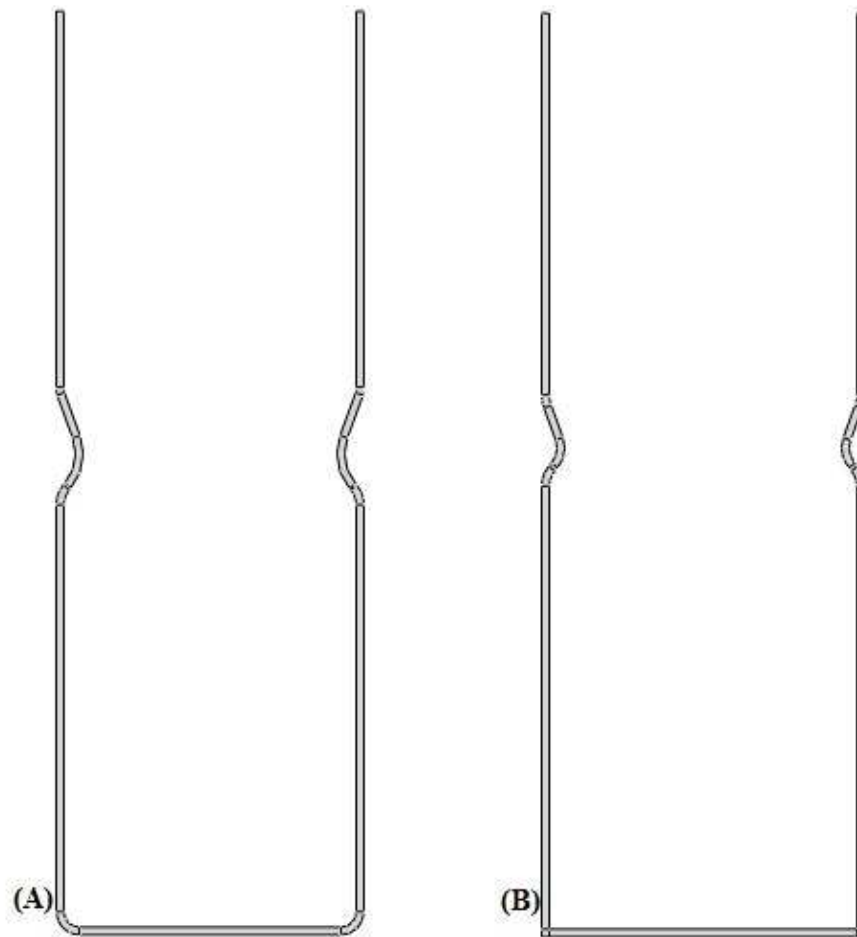


Figura 6-16: modellazione shell pannello (A) e zoccolino (B) ZPT1

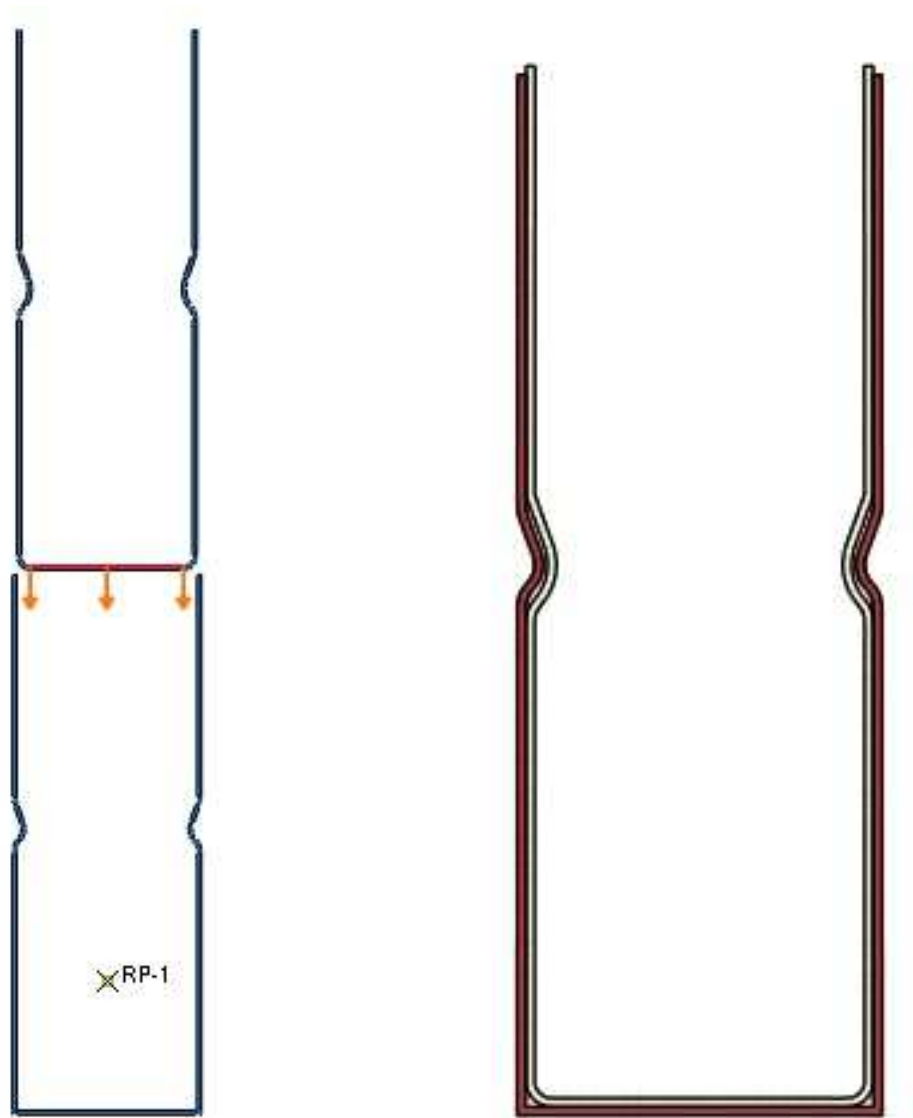


Figura 6-17: Posizione iniziale e finale ZPT1

Anche in questo caso per l'analisi degli sforzi si è deciso di applicare un controllo in spostamento. Successivamente al posizionamento nello spazio si è imposto uno spostamento verticale in modo che il pannello andasse completamente a contatto con i con lo zoccolino. Il “reference point” vincola a terra la struttura.

Lo sforzo sarà massimo in corrispondenza della flessione massima delle ali dello zoccolino.

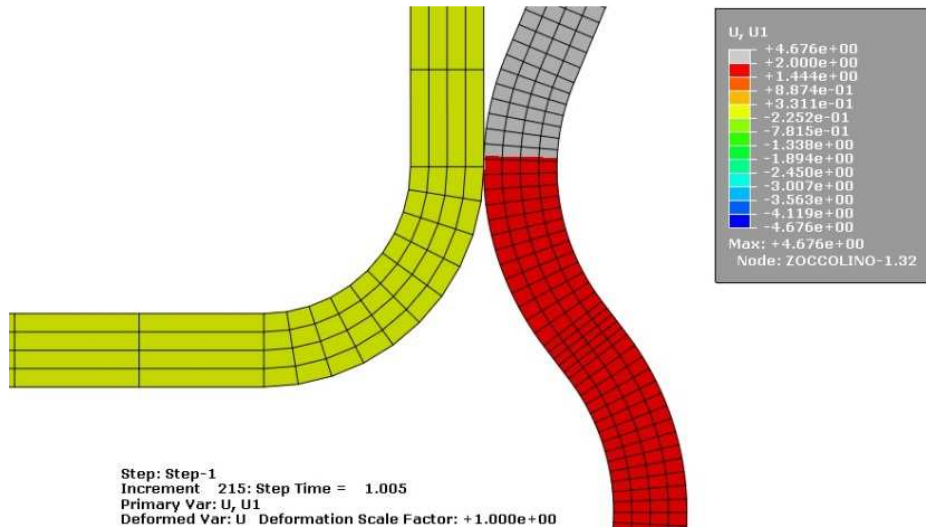


Figura 6-18: Massima flessione ZPT1

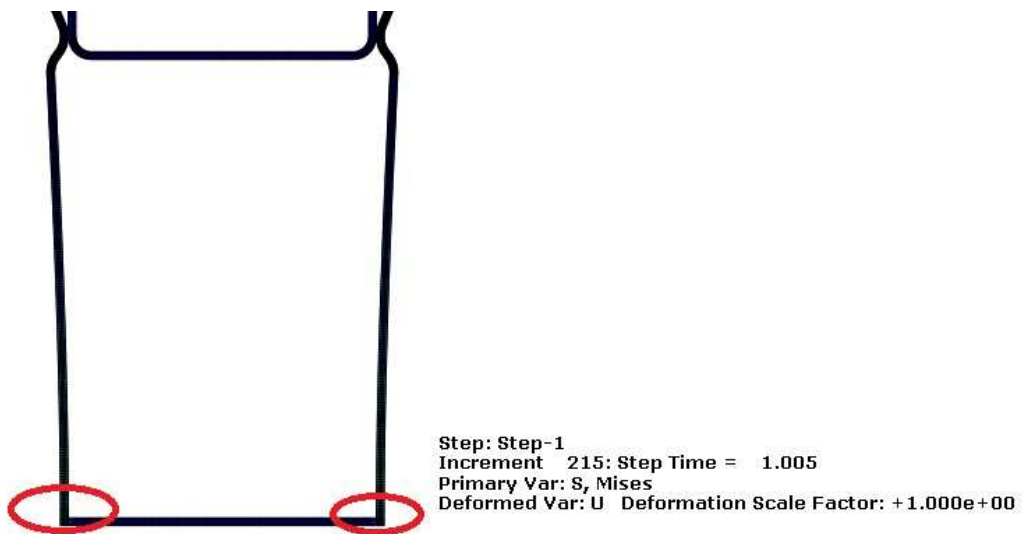


Figura 6-19: Posizione massimo sforzo ZST1

Come si evince dalla Figura 6-20 il valore massimo dello sforzo è pari a 94.43 MPa che risulta ben al di sotto del limite di snervamento del materiale.

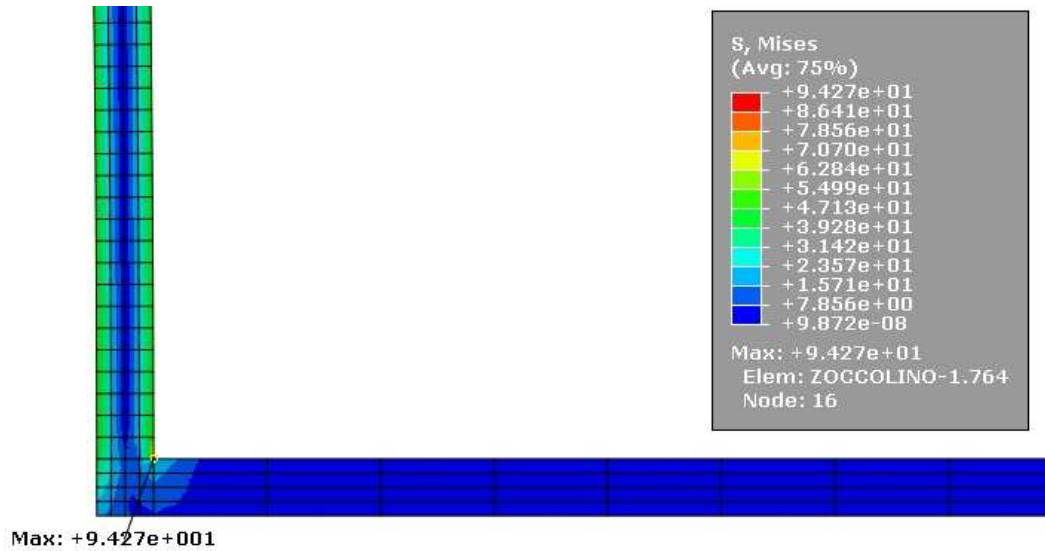


Figura 6-20: Sforzo massimo ZPT1

In Figura 6-21 è presente l'andamento della forza di montaggio

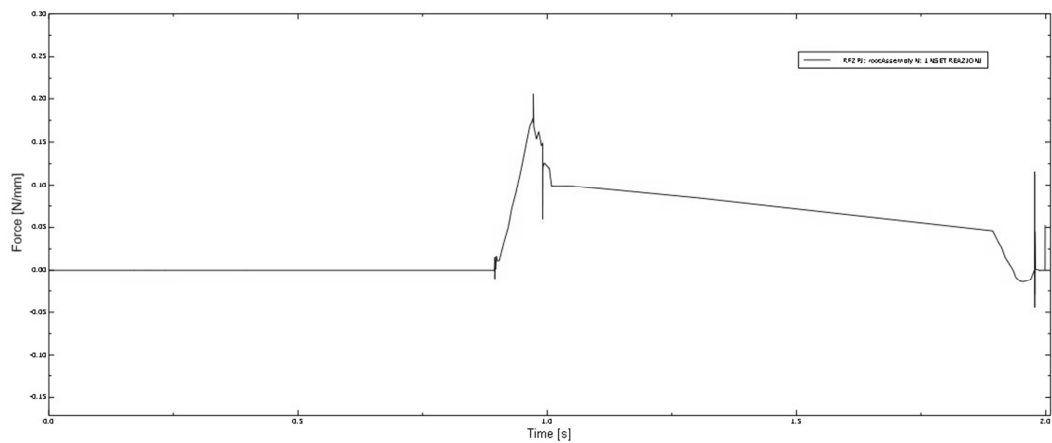


Figura 6-21: Reazione vincolare montaggio ZPT1

Il valore massimo è pari a 0,177 N/mm ed essendo la lunghezza dello zoccolino pari a 1.000,00 mm.

$$f_{xB} = 0,177 \times 1.000,00 = 177,00 \text{ N}$$

Il valore risulta accettabile in quanto è prossimo al valore imposto 200,00 N.

Per lo smontaggio è necessario valutare la forza più piccola

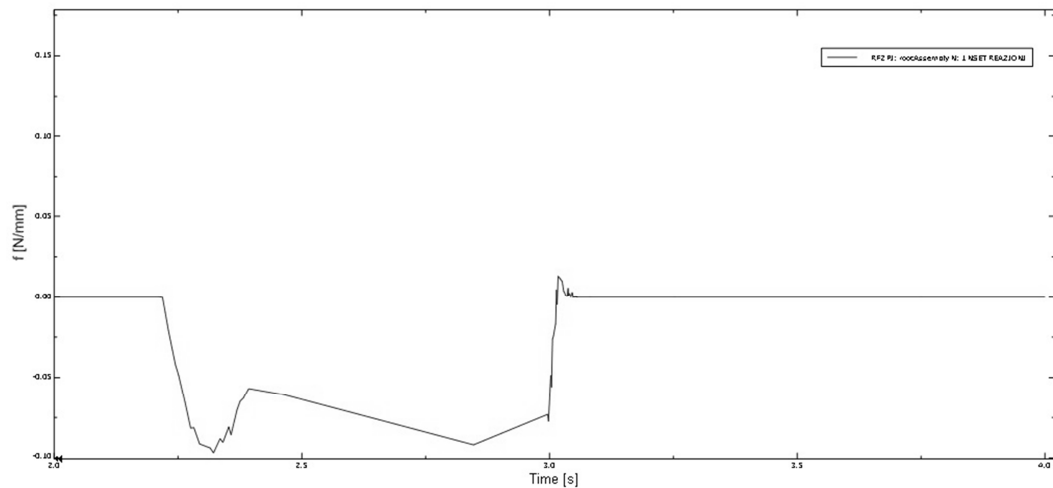


Figura 6-22: Reazione vincolare smontaggio ZPT1

Il minimo in valore assoluto è pari a 0,097 N/mm ed essendo la lunghezza dello zoccolino pari a 1.000,00 mm.

$$f_{xB} = 0,177 \times 1.000,00 = 97,00 \text{ N}$$

In entrambi i casi, per gli stessi motivi del caso della barriera antirumore, il risultato è al di sotto del valore di progetto di 200,00 N.

6.2.2 Sistema bloccaggio pannelli (CPTxx)

a) Dispositivo Pieno (CPT2A)

Per rendere pratico e semplice il collegamento, oltre all'asola centrale, si è deciso di impostare una forza di montaggio molto bassa pari a 40 N. Il dispositivo può essere smontato solo volontariamente quindi l'angolo β sarà pari a 90° mentre quello di montaggio α sarà di 45° . Per motivi dettati dall'ingombro e il peso della lamiera del pannello il sottosquadro Y sarà pari a 1 mm.

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F_v	6,60	N	F_v	20,00	N
L_{min}	24,68	mm	L_{min}	35,71	mm
H	$0,0336*L$		H	$0,0339*L$	

Tabella 6-7: Valori minimi CPT2A

La condizione più restrittiva è quella derivante dallo smontaggio del pezzo mentre il rapporto H/L_{min} è circa lo stesso. Imponendo un valore di lunghezza L pari a 44,50 mm si ottiene uno spessore H pari a 1,50 mm.

Nella Figura 6-23 sono rappresentati i modelli shell ad elementi finiti.

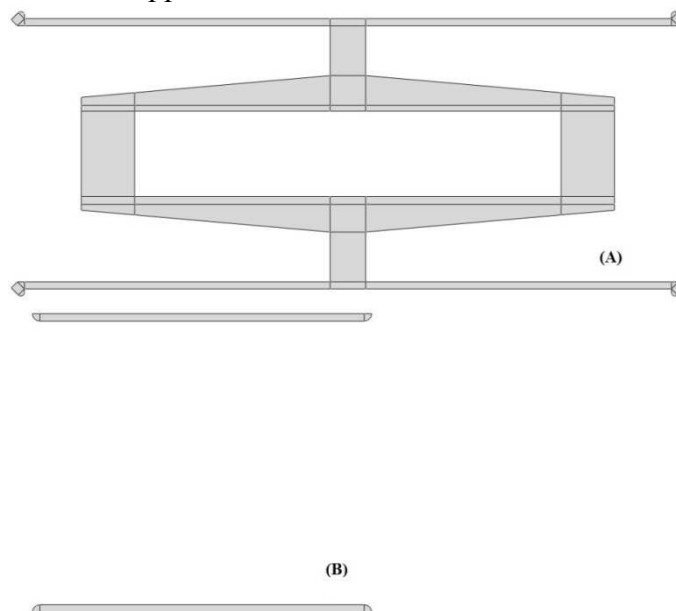


Figura 6-23: modellazione shell collegamento (A) e pannello (B) CPT2A

Il dispositivo dovrà muoversi orizzontalmente (Figura 6-24) mentre il pannello verrà vincolato a terra con la tecnica del coupling vista precedentemente.

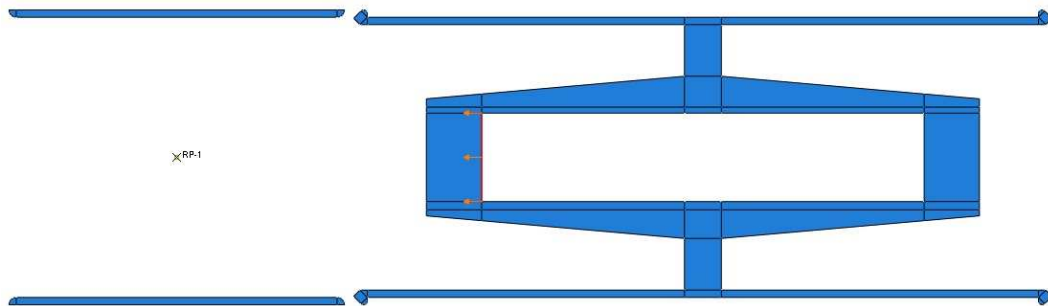


Figura 6-24: Posizione iniziale

In seguito allo spostamento si otterrà questa configurazione finale:

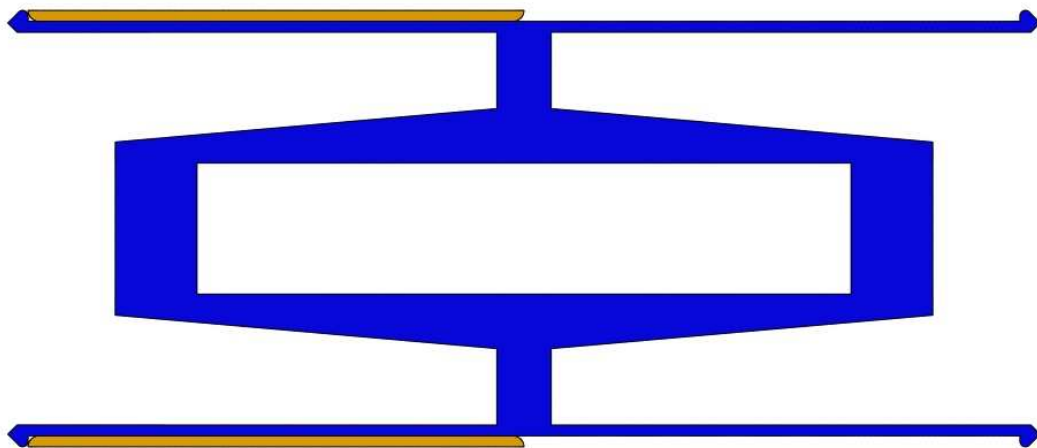


Figura 6-25: Posizione finale CPT2A

Lo sforzo massimo avverrà in corrispondenza della flessione massima dei due Snap-fit.

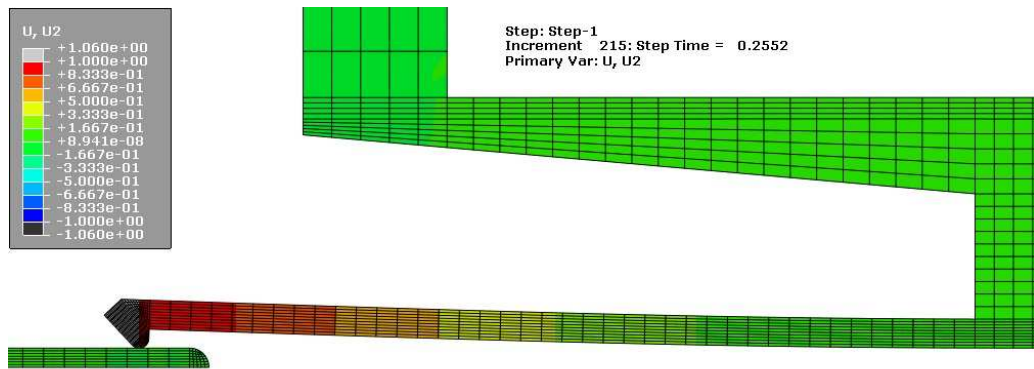


Figura 6-26: Massima flessione CPT2A

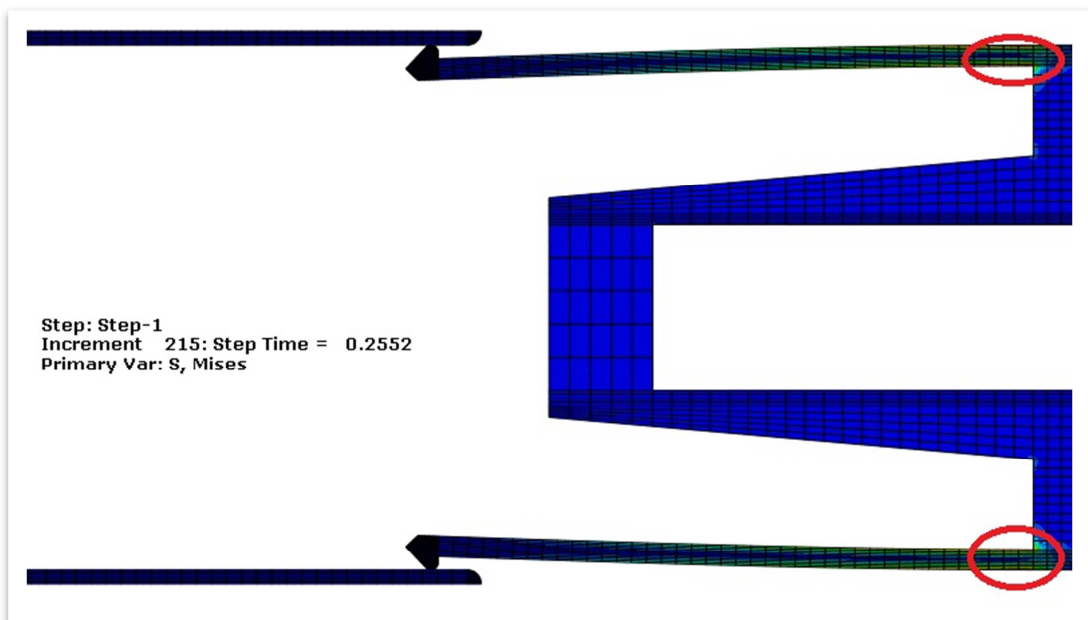


Figura 6-27: Posizione massimo sforzo CPT2A

Come si evince dalla Figura 6-28 il valore massimo dello sforzo è pari a 83,24 MPa, ben al di sotto del limite di snervamento del materiale.

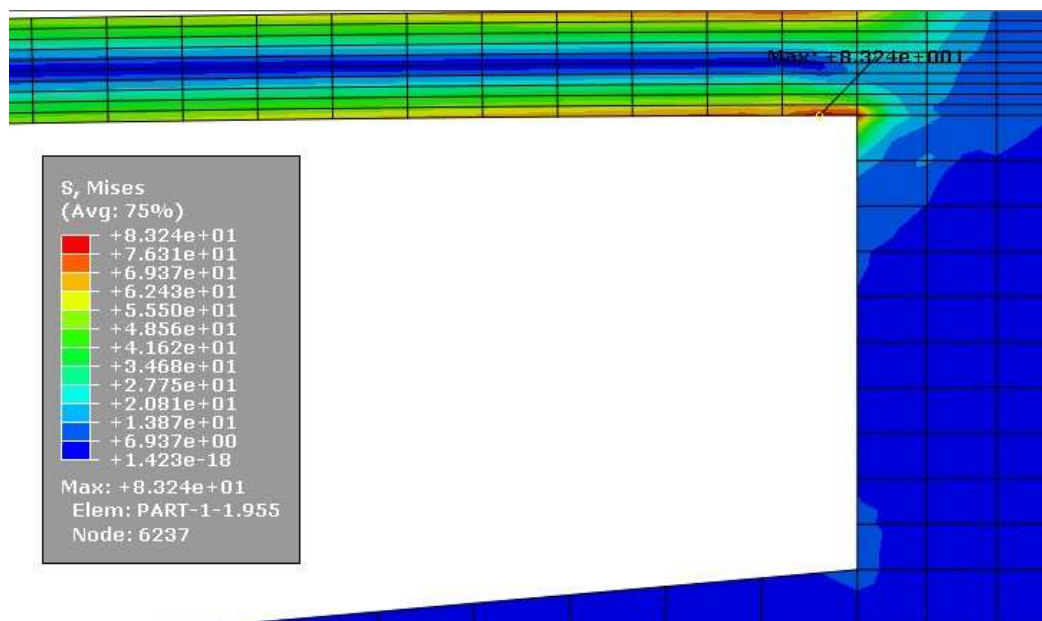


Figura 6-28: Sforzo massimo CPT2A

In Figura 6-29 è rappresentato l'andamento della forza di montaggio

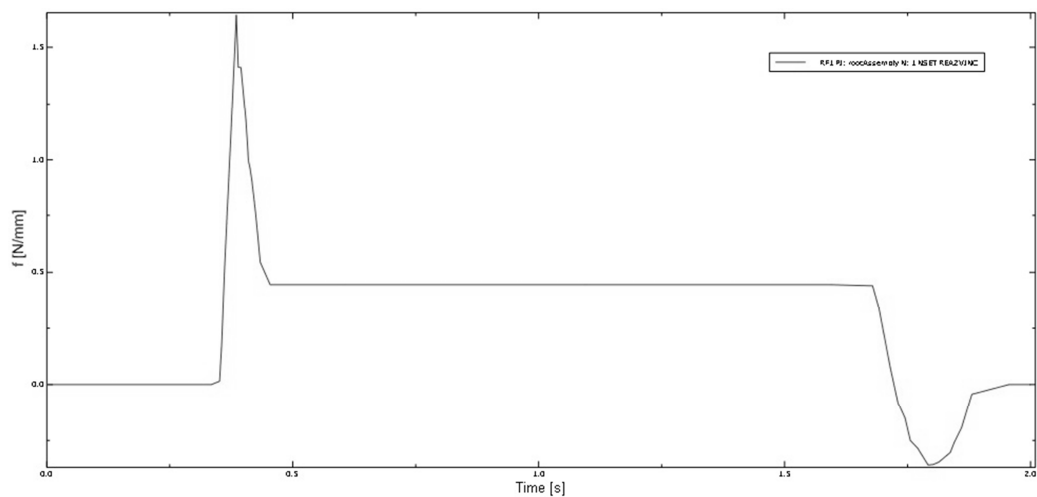


Figura 6-29: Reazione vincolare CPT2A

Il valore massimo è pari a 1,641 N/mm ed essendo la il dispositivo alto 30,00 mm

$$fxB = 1,641 \times 30,00 = 49,23 \text{ N}$$

Il valore risulta accettabile in quanto è prossimo al valore imposto 40,00 N.

b) Dispositivo Piastra

Le ipotesi utilizzate per questo progetto sono le stesse del dispositivo pieno, la differenza principale è data dalla sezione resistente che risulta minore di quella della variante principale ma presenta comunque una resistenza sufficiente per il sistema.

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F_y	6,60	N	F_y	20,00	N
L_{min}	24,68	mm	L_{min}	35,71	mm
H	0,0338*L	mm	H	0,0339*L	mm

Tabella 6-8: Valori minimi CPT3

In questo caso si nota che la condizione più restrittiva è quella derivante dallo smontaggio del pezzo mentre il rapporto H/L_{min} è circa lo stesso. Imponendo un valore di lunghezza L pari a 44,50 mm si ottiene uno spessore H pari a 1,50 mm.

Nella Figura 6-30 è rappresentato il modello 2D.

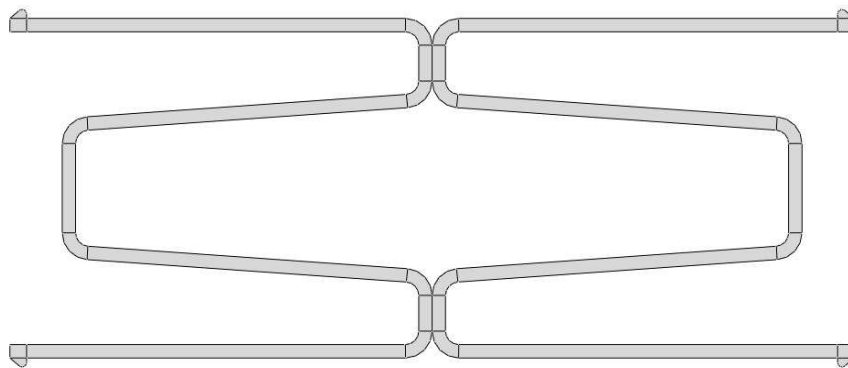


Figura 6-30: modellazione shell collegamento CPT3

Anche questo dispositivo dovrà muoversi orizzontalmente (Figura 6-31) mentre il pannello verrà vincolato a terra con un coupling.

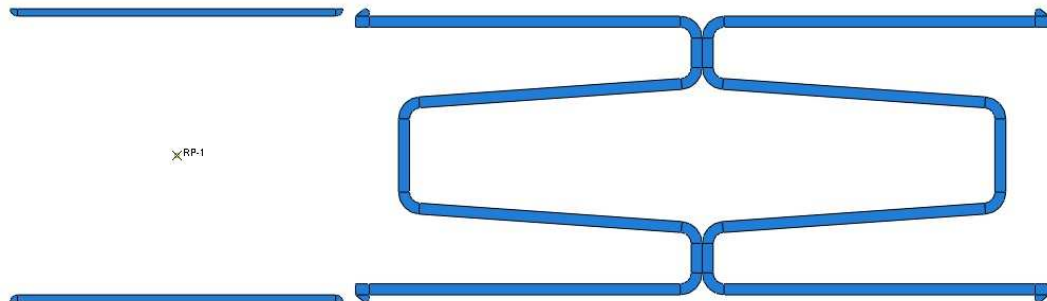


Figura 6-31: Posizione iniziale CPT3

In seguito allo spostamento si otterrà questa configurazione finale:

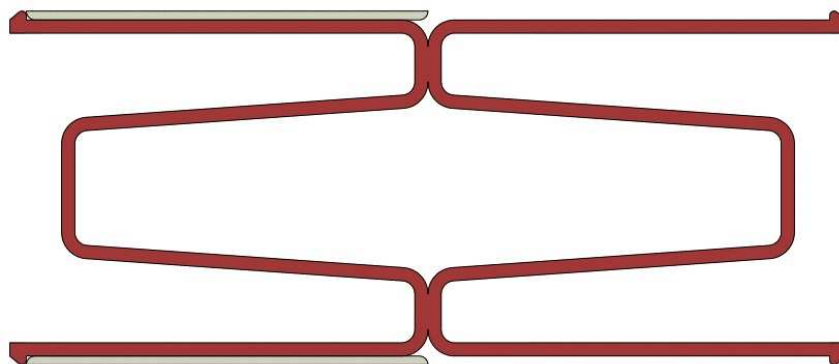


Figura 6-32: Posizione finale CPT3

Lo sforzo sarà massimo in corrispondenza della flessione massima dei due Snap-fit.

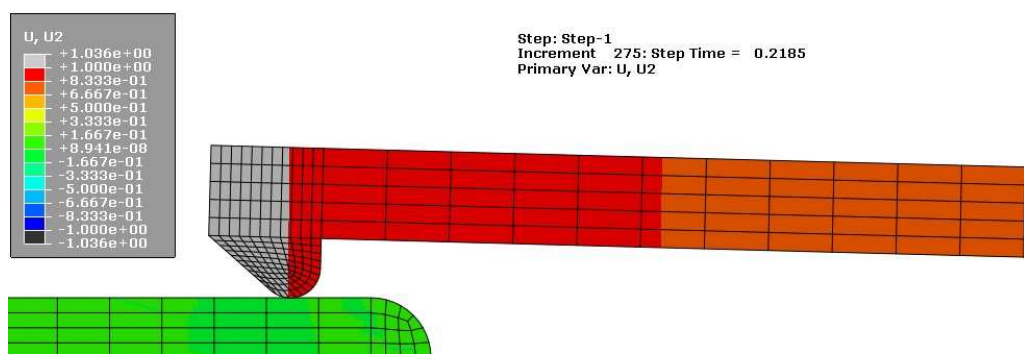


Figura 6-33: Massima flessione CPT3

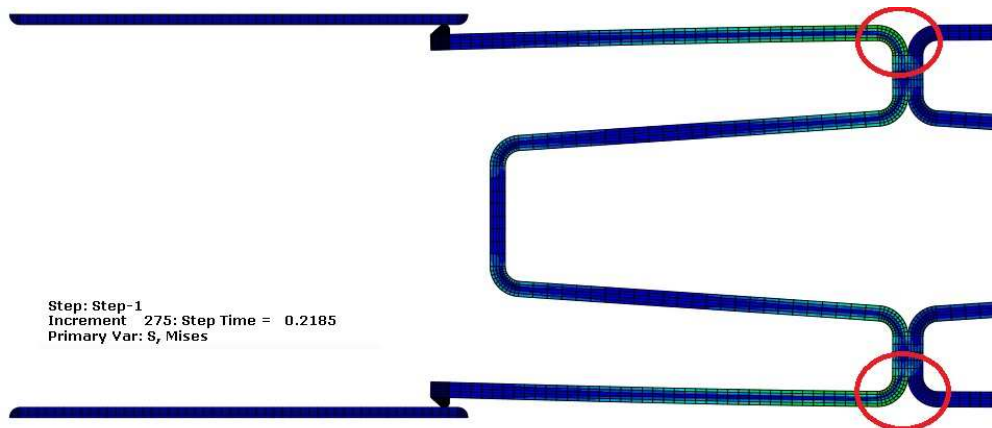


Figura 6-34: Posizione massimo sforzo CPT3

Come si evince dalla Figura 6-35 il valore massimo dello sforzo è pari a 68,72 MPa, ben al di sotto del limite di snervamento del materiale.

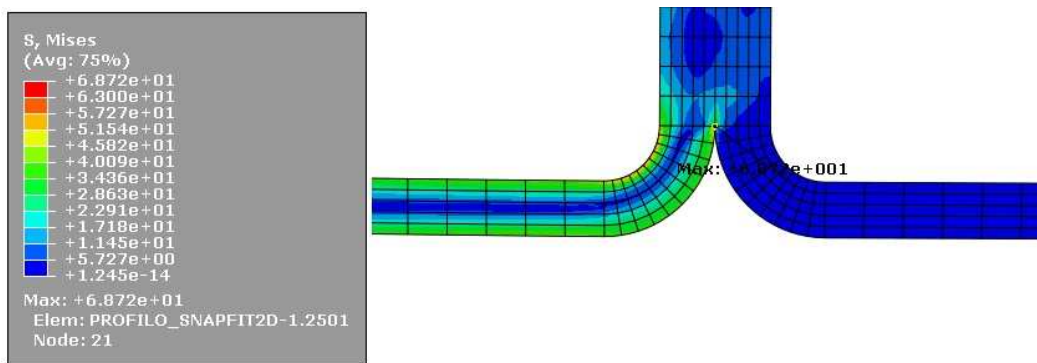


Figura 6-35: Sforzo massimo CPT3

In Figura 6-36 è rappresentato l'andamento della forza di montaggio

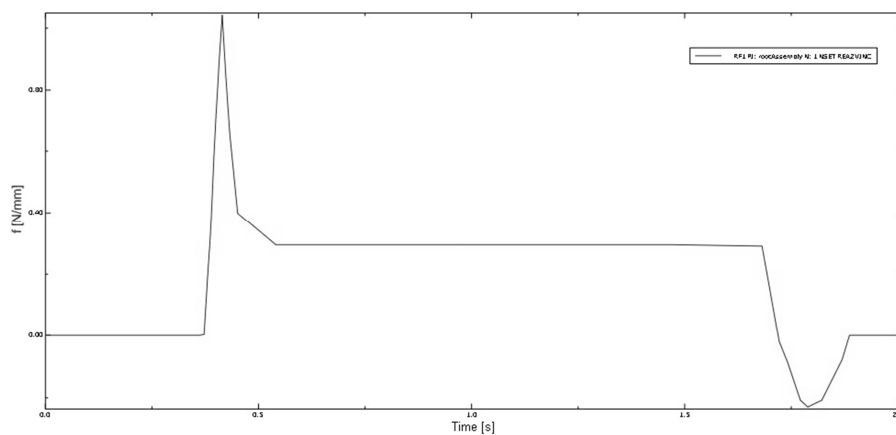


Figura 6-36: Reazione vincolare CPT3

Il valore massimo è pari a 1,042 N/mm ed essendo il dispositivo alto 30,00 mm

$$f_{xB} = 1,042 \times 30,00 = 31,26 \text{ N}$$

Il valore risulta accettabile in quanto è prossimo al valore imposto 40,00 N.

Per l'analisi degli sforzi di smontaggio in entrambi i casi di dispositivo piastra e pieno è si utilizza il calcolo classico. Anche in questo caso la struttura è schematizzabile come una doppia mensola incastrata su cui viene ripartito uniformemente il carico totale $F= 40,00 \text{ N}$. Il momento massimo sarà uguale per entrambi gli uncini e sarà pari a:

$$M = \frac{F}{2} * L = \frac{40}{2} \text{ N} * 44,50 \text{ mm} = 890,00 \text{ Nmm}$$

La sezione rettangolare ha base $b= 30,00 \text{ mm}$ e altezza $h=1,50 \text{ mm}$. Il modulo di inerzia sarà pari a:

$$J = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 30 * 1,5^3 = 8,44 \text{ mm}^4$$

Lo sforzo massimo considerando $y=h$ risulta:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{J} * \frac{y}{2} = \frac{890}{8,44} * 0,75 = 79,09 \text{ MPa}$$

Questo valore risulta accettabile.

Capitolo 7

Realizzazione del prototipo CPT3

La prima fase della realizzazione del prototipo prevede il taglio con una sega a nastro delle lamiere in alluminio di dimensioni 30x1500 sp. 1,5 mm.



Figura 7-1: Barre base in alluminio

Lo sviluppo del modello è circa 210 mm, eccedendo per sicurezza sono state ottenute dal processo di taglio delle piccole barre di dimensioni 230x30 sp. 1,5 mm.

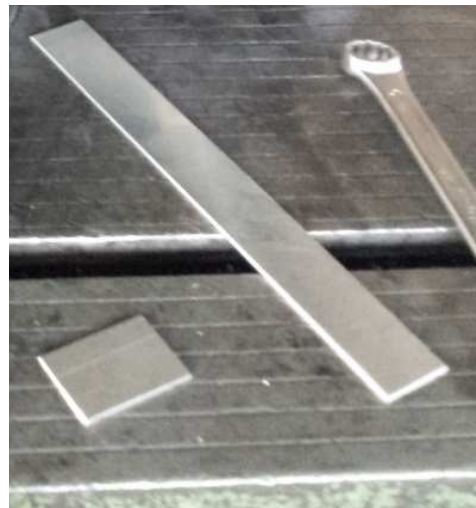


Figura 7-2: Sviluppo dispositivo

Essendo un prodotto non standard è stato necessario creare un'attrezzatura ad hoc per la piegatura dei lamierini. Questa lavorazione di deformazione viene eseguita con l'ausilio di una pressa da 50 tonnellate (Figura 7-3). La punta e la contropunta sono state realizzate da delle barrette in acciaio opportunamente tagliate e saldate tra di loro con una saldatrice MIG ottenendo il risultato in Figura 7-4.



Figura 7-3: Pressa



Figura 7-4: Punta e contropunta per pressa

Una volta tarato l'angolo di piegatura e posizionato il pezzo nel punto esatto sono state eseguite le prime due piegature nel mezzo con inclinazione 5° ciascuna creando il corpo centrale come Figura 7-5.

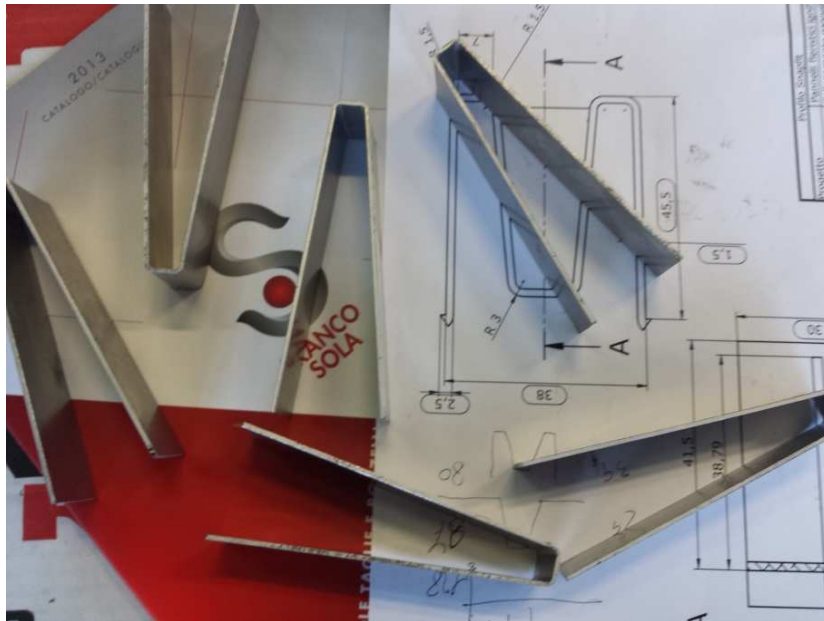


Figura 7-5: Prima piega

Successivamente con due pieghe si riportano le ali perpendicolari all'asse.

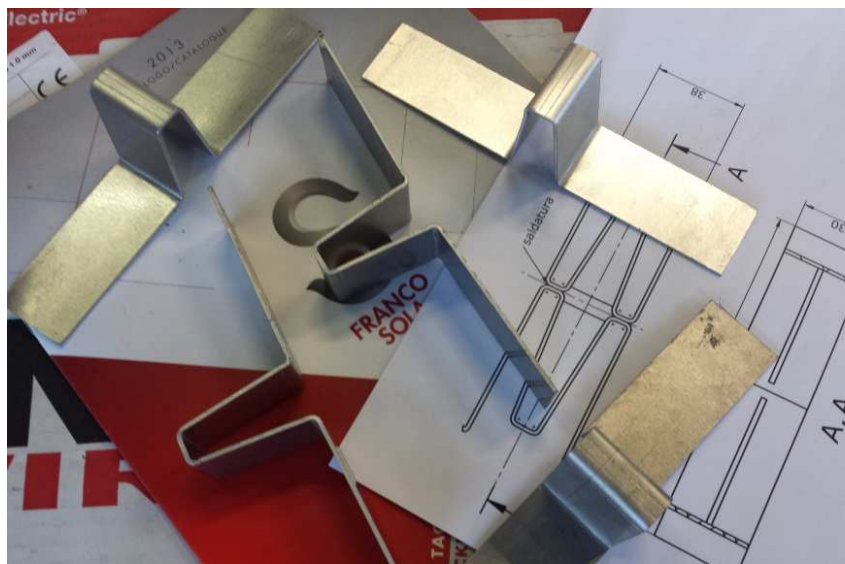


Figura 7-6: Seconda piega

Le ultime due pieghe verticali e orizzontali completano la fase di piegatura ottenendo un profilo a "W". I due pezzi vengono successivamente raddrizzati e posizionati uno di fronte all'altro facendo combaciare le due punte laterali (Figura 7-7)

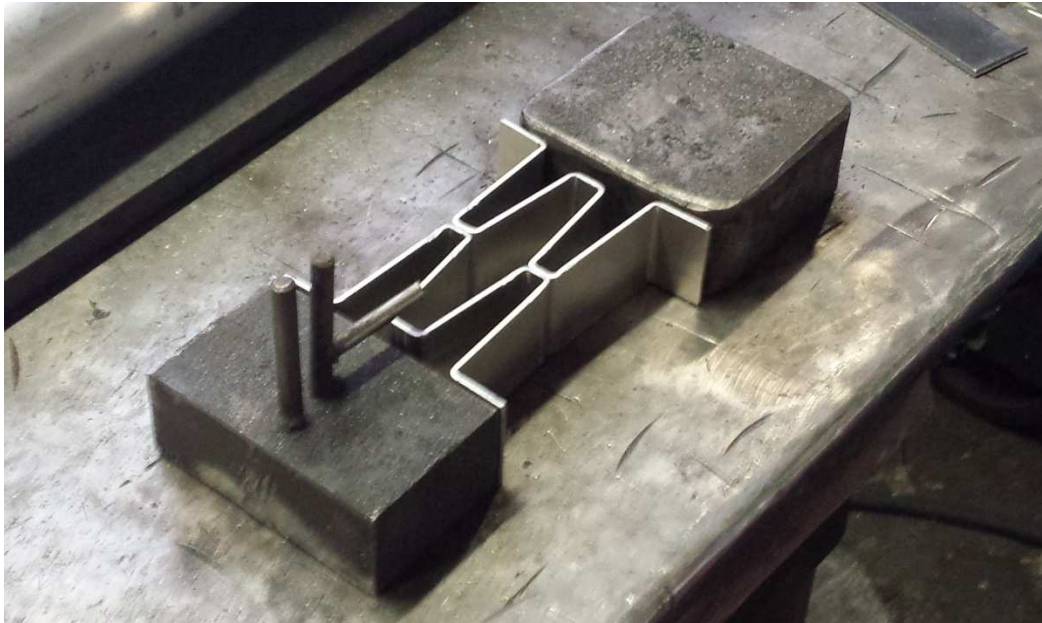


Figura 7-7: Profili a W accostati

Una volta accostati è stato possibile procedere ad unire i due profili attraverso il processo di saldatura TIG.

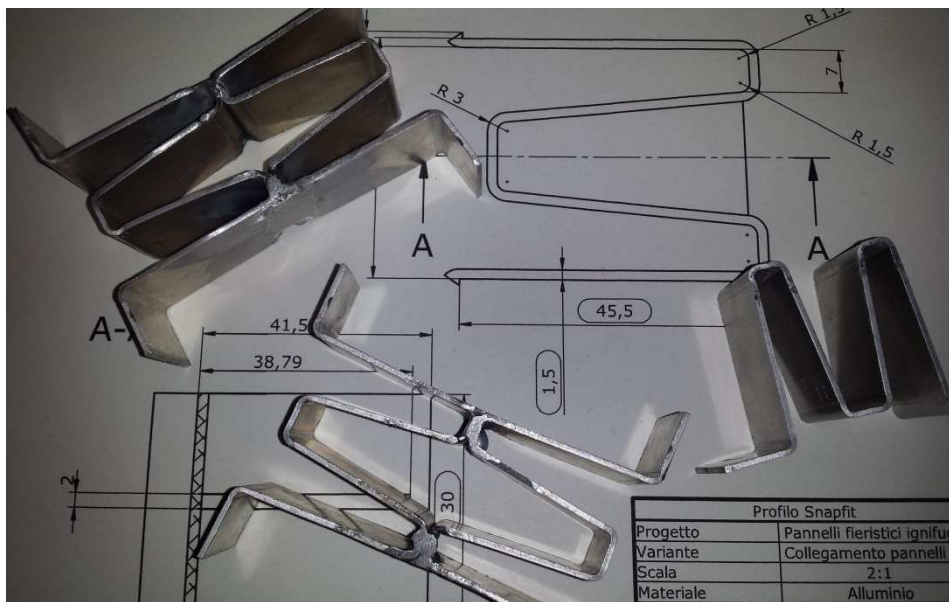


Figura 7-8: Profili saldati

Essendo il materiale molto duttile e lavorabile si è deciso di utilizzare un seghetto ed una lima per ridurre l'altezza dell'ultima piega e inclinare del valore desiderato la punta dello Snap-fit ottenendo il risultato in Figura 7-9 e Figura 7-10.



Figura 7-9: Collegamento Snap-fit finale grezzo

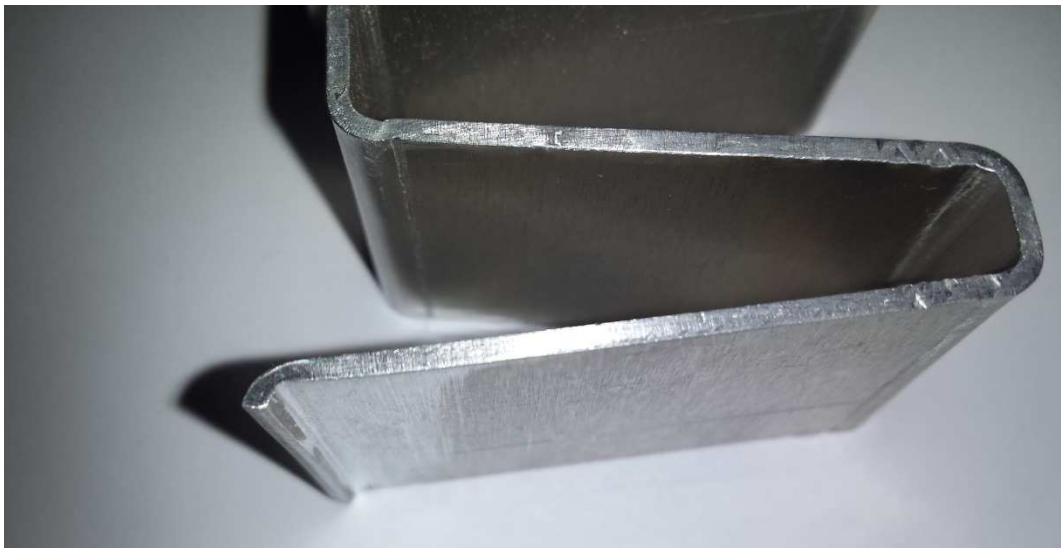


Figura 7-10: Particolare profilo finale grezzo

Dopo aver eseguito operazioni di carteggio e limatura si è verniciato il profilo ottenendo un profilo maggiormente gradevole alla vista e più sicuro grazie all'assenza di spigoli vivi (Figura 7-11)



Figura 7-11: Collegamento Snap-fit completo

Per simulare il collegamento sono stati realizzati due blocchetti cubici con delle feritoie. Questi oggetti sono le pareti che lo Snap-fit dovrà unire. Per simulare la rigidità del pannello si è utilizzato un profilo in ottone di spessore 2 mm. I lati sono stati poi saldati attraverso la brasatura utilizzando una bacchetta di argento ottenendo il risultato in Figura 7-12.

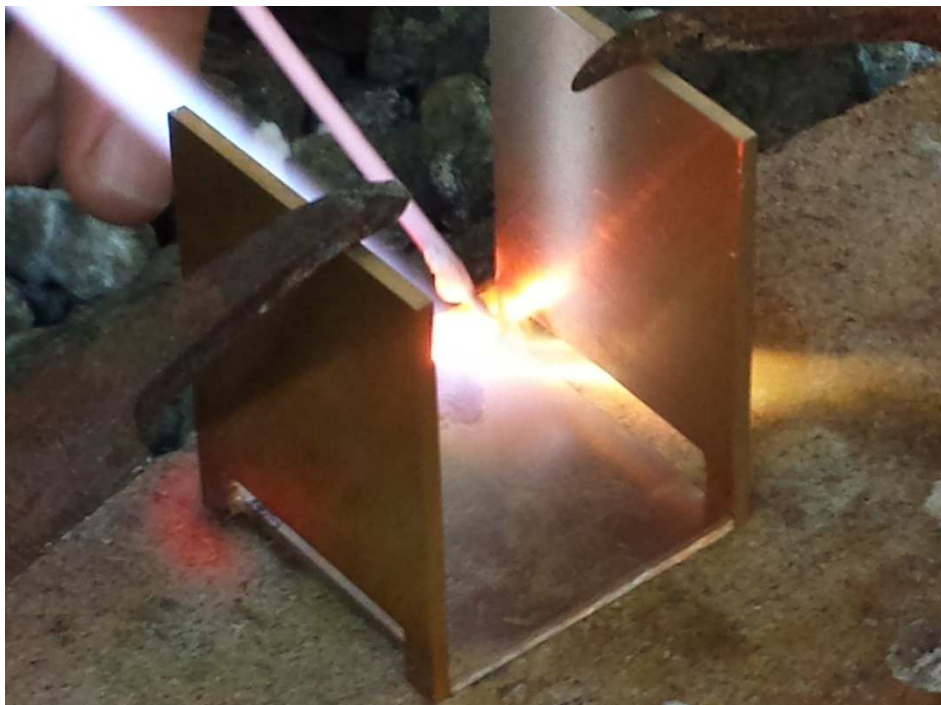


Figura 7-12: Blocchetto in ottone

Una volta completati i due blocchetti è possibile unirli attraverso il dispositivo Snap-fit.



Figura 7-13: Prototipo completo

Il processo di piega su un materiale come l'alluminio non produce la precisione richiesta, quindi le due ali laterali saranno leggermente inclinate verso l'esterno. Questo effetto produce due conseguenze sul collegamento. La prima è negativa in quanto aumenta la forza necessaria per la flessione degli Snap-fit e quindi per il loro inserimento, la seconda, invece, è molto positiva in quanto la maggiore inclinazione fornisce una sorta di precarico che migliora l'efficienza del collegamento. Essendo l'aumento di forza relativamente basso è lecito affermare che l'inclinazione delle ali migliora le caratteristiche del dispositivo di bloccaggio.

A prima vista il processo di realizzazione del prodotto è lungo e abbastanza laborioso ma non bisogna perdere di vista che le tecnologie utilizzate (piegatura, saldatura, taglio e asportazione di truciolo) sono rivolte alla produzione di un solo prototipo: per la produzione in grande scala è possibile utilizzare processi quali la microfusione o la profilatura. L'ultimo caso è probabilmente il migliore in quanto un profilo opportunamente sagomato può essere poi semplicemente tagliato della dimensione necessaria riducendo i tempi di produzione. Essendo onerosa la produzione di una matrice per la trafilatura o del grappolo di modelli per la fusione si è deciso di procedere comunque con una serie di tecnologie a minor efficienza, e precisione, riducendo però notevolmente i costi di realizzazione.

La problematica principale riscontrata sul prototipo è data dalla piccola dimensione della parte terminale dell'uncino: uno spessore così piccolo non permette di applicare agevolmente la forza necessaria allo smontaggio. Con procedimenti diversi dalla piegatura è però possibile ottenere un'area maggiore sulla quale applicare la forza e quindi agevolare il distacco del pezzo.

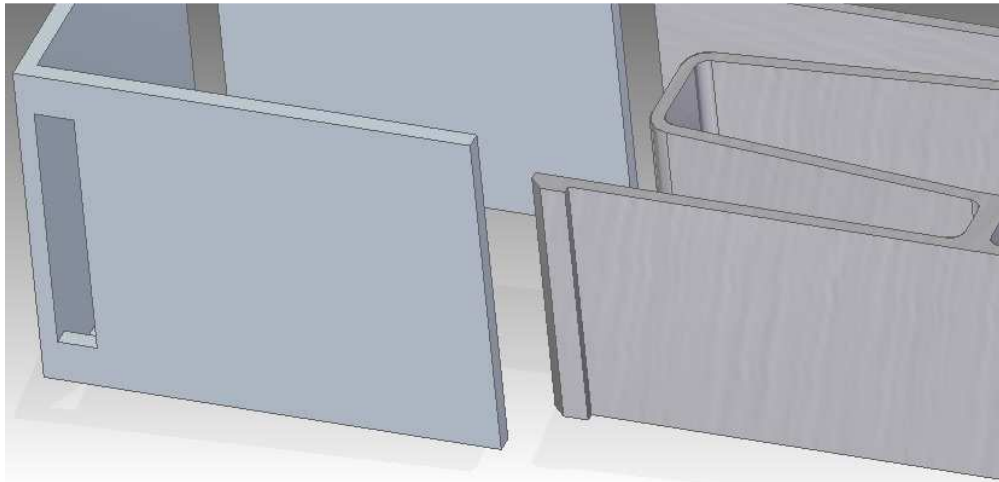


Figura 7-14: Modifica punta Snap-fit

La punta manterrà l'inclinazione prefissata aumentando la praticità dell'applicazione del carico. Si avranno anche delle migliorie dal punto di vista estetico in quanto la luce risultante dall'incisione nella parete verrà riempita dallo Snap-fit stesso.

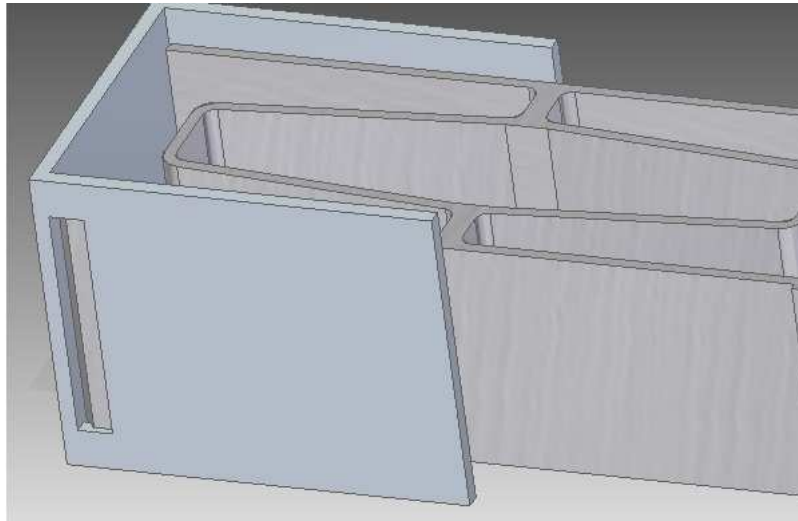


Figura 7-15: Assemblaggio Snap-fit modificato

Capitolo 8

Conclusioni e sviluppi futuri

La realizzazione del prototipo e lo studio ad elementi finiti hanno confermato che è possibile utilizzare, con risultati soddisfacenti e a favore di sicurezza, gli Snap-fit meccanici in campo strutturale. La teoria delle travi usate per i materiali plastici è utilizzabile con gli stessi risultati nel campo metallico: come previsto il problema maggiore è stato quello di conciliare piccoli spessori con la resistenza meccanica e grandi lunghezze con l'ingombro disponibile. Piegando le lamiere, nel caso di maschera per barriera e di zoccolino per pannello, si è risolta questa problematica poiché è presente molto spazio per la flessione degli Snap-fit ed una volta montati abbracciano completamente il corpo che devono bloccare incrementando esclusivamente lo spessore dei pannelli. Nel caso invece dei dispositivi di bloccaggio gli uncini verranno caricati solo dalle forze di montaggio e smontaggio, quelle esterne e strutturali verranno trasferite nella parte centrale nel caso del collegamento dei pannelli e nella parte posteriore in quello dei dispositivi di bloccaggio per barriere: non a caso in quei punti si ha un incremento di spessore e di area resistente.

Una delle particolarità positive di questi dispositivi è l'utilizzo della sola forza delle dita o del palmo della mano per l'accoppiamento dei componenti senza eccessivo sforzo. Inoltre, grazie alle analisi di efficienza effettuate con il metodo Boothroyd, si possono dimostrare i vantaggi del montaggio con accoppiamenti a scatto integrato rispetto alle tecniche classiche: le dimensioni e la leggerezza rendono questi componenti molto pratici, maneggevoli e funzionali.

Esistono però alcune problematiche che possono essere sfruttate per sviluppi e migliorie future. Innanzitutto il problema principale è dato dallo smontaggio dei dispositivi di bloccaggio: mentre per la maschera e lo zoccolino è sufficiente sfilare il componente bloccato per dividere i pezzi, negli altri casi la difficoltà aumenta a causa dell'angolo di smontaggio $\beta=90^\circ$. Entrambi i componenti sono pensati per uno smontaggio volontario quindi l'unica soluzione possibile è quella di utilizzare un angolo retto. I problemi di smontaggio risultano però differenti ma superabili in entrambi i casi. Il dispositivo di bloccaggio delle barriere richiede degli oggetti, ad esempio dei cacciaviti, che possano inserirsi nelle tasche create ad hoc nel montante e nel pannello facendo leva su entrambi gli uncini permettendo di sfilare agevolmente il dispositivo di bloccaggio senza sforzi eccessivi e senza rovinare il pezzo. Il collegamento tra pannelli invece presenta delle difficoltà in fase di montaggio in quanto sono presenti tre blocchetti di

collegamento le cui ali devono essere sbloccate contemporaneamente. Una possibile soluzione di massima è quella proposta per lo sbloccaggio dei blocchetti del prototipo: due placchette rettangolari vengono inserite esternamente tra lo Snap-fit e il pannello. In questo modo istantaneamente l'angolo β diminuirà, contemporaneamente ad una prima flessione dell'uncino, riducendo la forza necessaria e agevolandone così lo smontaggio. Essendo due placchette di piccole dimensioni e spessori possono passare attraverso la feritoia che funge da sede per lo Snap-fit: le due piastre verranno tenute assieme con l'ausilio di un filo di cuoio (non è necessario nessuna resistenza meccanica in quanto il filo funge esclusivamente da collegamento per le due piastre) e potranno essere agevolmente inserite per smontare i componenti.



Figura 8-1: Placchette per agevolare lo smontaggio

L'evoluzione di questo metodo è l'utilizzo di un dispositivo simile ad un cacciavite che una volta inserito nella feritoia e ruotato può flettere le ali dello Snap-fit rendendo possibile lo smontaggio dei due pannelli.



Figura 8-2: Dispositivo di sbloccaggio a cacciavite

Nel caso dei pannelli per stand fieristici non è stato possibile eliminare il rischio maggiore, cioè quello dato dal lavoro in quota, in quanto è necessario essere ad un'altezza elevata per inserire lo zoccolino superiore. Il tempo di permanenza sulla scala però è notevolmente ridotto.

Un'altra problematica è quella del montaggio dei pannelli perpendicolari che permettono alle pareti di rimanere verticali senza cadere. Come visto precedentemente nel caso di pannelli classici in MDF è necessario avvitare dei profili superiormente creando la conformazione a T. In questo caso è possibile è fare la stessa cosa ponendo sopra alla parete perpendicolare uno zoccolino modificato. Questo componente è identico a quello base con l'aggiunta di uno Snap-fit laterale che abbraccia lo zoccolino superiore che unisce le pareti che formano le ali della T.

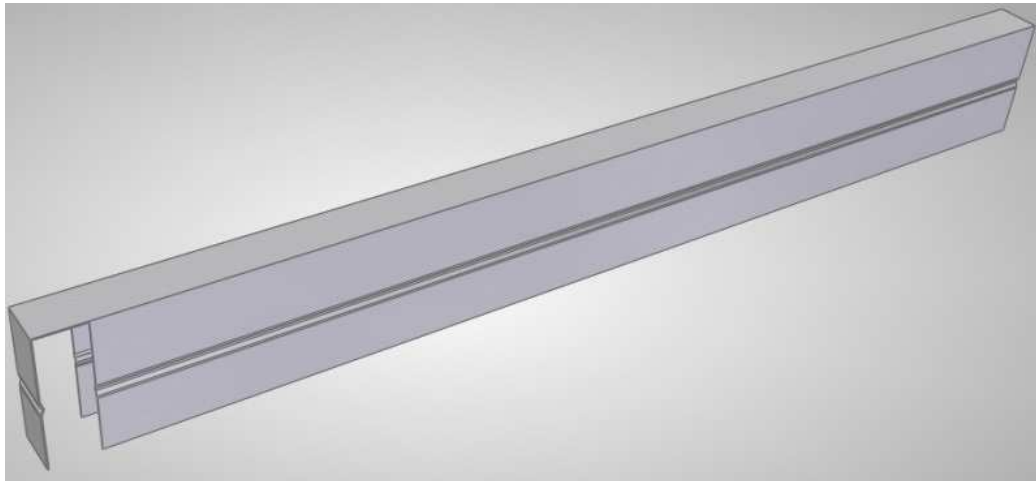


Figura 8-3: Zoccolino superiore modificato

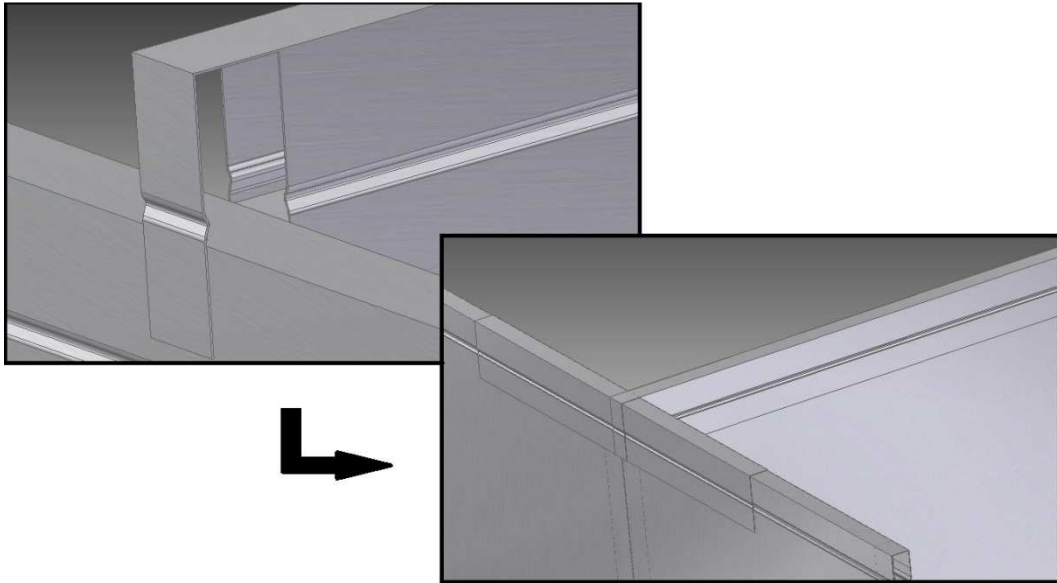


Figura 8-4: Montaggio zoccolino superiore modificato

Gli zoccolini e le maschere possono essere realizzati con la trafilatura oppure con un processo di piegatura. Nel primo caso si avrà una maggiore produttività ma sarà impossibile realizzare la parte finale per il collegamento a T, nel secondo caso invece è possibile realizzare uno zoccolino direttamente da una lastra di alluminio. La tecnologia che permette la realizzazione dei dispositivi di bloccaggio e dei sistemi di collegamento per pannelli è la microfusione, mentre nel caso del collegamento pannelli tipo 3 è possibile ottenere diversi pezzi da un profilo opportunamente sagomato. Essendo elevati i costi delle matrici di trafilatura e delle sagome per la realizzazione sarà necessario avere un alto numero di pezzi da produrre sfruttando a pieno il potenziale e la produttività delle tecnologie adottate.

Ringraziamenti

Concludo questo lavoro e questa esperienza ringraziando tutte le persone che mi hanno accompagnato ed aiutato durante questo lungo viaggio.

Grazie al Prof. Mario Guagliano che con la sua esperienza e la sua pazienza mi ha fornito aiuti ed indicazioni indispensabili.

Grazie al mio correlatore Ing. Alessandro Perrone la sua presenza e i consigli tecnici sono stati fondamentali nei momenti in cui mi sentivo in difficoltà.

Grazie al Andrea Auci che, con la sua esperienza nel capo fieristico, mi ha fornito interessanti spunti e informazioni riguardo ai pannelli per stand.

Grazie al sig. Franco Sola che ha permesso la realizzazione del prototipo.

Grazie Papà e Mamma, non dimenticherò mai gli sforzi fatti per permettermi di arrivare fino a qua e soprattutto la pazienza che avete avuto per sopportarmi.

Grazie Alex e Maria, nonostante i momenti di sconforto, sentirvi vicini e vedervi ogni settimana mi riempie di felicità.

Grazie ai miei nipotini Gaia e Christian per il vostro affetto sincero e spontaneo che solo i bambini possono dare.

Grazie Roberta, per la serenità che mi hai dato per affrontare questo periodo.

Grazie del supporto e alla presenza costante dei miei Bros, Carlo, Ale, Dal e Lollo e di Ili, Princi, Ross, Tony, Terry, Bellux, Frasche, Crunch, Anna, Charlie, Paolo.

Grazie ad amici sinceri come Bobo, Leti, Alessia, Eli, Ale, Lucry, Malga, Gaia, Chiara, Angelo, Marianna e Maria Chiara.

Grazie Gary, sei stato l'amico più sincero e più presente che ho avuto in questo lungo cammino.

Grazie a tutti gli altri compagni che mi hanno seguito in questo percorso, Gigi, Lety, Silvia, Ame, Egi, Andrea, Rube, Nico, Simo, Boris.

Grazie ai miei compagni dell'ultimo anno; Step, Cirzio, Tola, Seba, Belo, Base "per fortuna che ci siamo conosciuti alla fine dell'università ma spero di frequentarvi ancora".

Grazie ai miei parenti per il supporto, soprattutto a Dario che mi ha fornito sempre consigli utili e un incitamento costante.

Grazie a Max, senza le tue conoscenze e la tua pazienza Abaqus sarebbe stato ancora più complicato del normale.

Grazie al mio maestro Quirino, al mio caro amico Roberto e a tutti gli atleti della palestra Rohai.

Bibliografia

- [1] Paul R. Bonenberger – *The First Snap-Fit Handbook. Creating and managing Attachments for plastic parts*, HANSER
- [2] Richard Wells & Michael Greig – *Characterizing human hand prehensile strength by force and moment wrench*, *Ergonomics*, 44:15, 1392-1402, DOI: 10.1080/00140130110109702
- [3] <http://www.dfma.com>
- [4] G. Boothroyd, P. Dewhurst, W. Knight – *Product Design for Manufacture and Assembly*, Marcel Dekker, Inc.
- [5] M. Guagliano – *Lezioni di progettazione, metodi, strumenti, applicazioni: cap.3 Metodologia del design for X (DFX); cap. 6 Metodi di unione dei materiali polimerici*, Politecnico di Milano
- [6] V. De Leonardis – *Definizione di una metodologia di ottimizzazione topologica per lo sviluppo di accoppiamenti a scatto (Snap-fit) metallici*, Politecnico di Milano
- [7] C. Amerio, R. De Ruvo, S. Simonetti – *Elementi di tecnologia, Tecniche di Unione*, SEI 2011
- [8] *ASM Metals Handbook Volume 6 – Welding, Brazing and Soldering*, ASM International
- [9] *Guida pratica alla saldatura*, FIMER
- [10] Bernasconi, Filippini, Giglio, Lo Conte, Petrone, Sangirardi – *Fondamenti di costruzione di macchine*, McGraw-Hill
- [11] Davoli, Vergani, Beretta, Guagliano, Baragetti – *Costruzione di macchine I*, McGraw-Hill
- [12] B. Previtali, M. Monno – *Tecnologia Meccanica 2*, Politecnico di Milano
- [13] Gabrielli, Ippolito, Micari – *Analisi e tecnologia delle lavorazioni meccaniche*, McGraw-Hill
- [14] <http://blog.mechguru.com/category/machine-design/>
- [15] http://www.tu-chemnitz.de/projekt/abq_hilfe/docs/v6.12/
- [16] Andrea Demozzi – *La progettazione delle barriere antirumore*, Il Sole 24ore
- [17] UNI EN 1794-1, *Dispositivi per la riduzione del traffico stradale* –

Prestazioni non acustiche

- [18] D.M. 4 maggio 1990 – *Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali*
- [19] A. Demozzi, P. Simonetti, G. Brero – *Caratteristiche non-acustiche delle barriere antirumore*
- [20] G. Brero – *Sistemi antirumore per infrastrutture stradali e ferroviarie*, Tubosider
- [21] A. Demozzi - *Barriere antirumore, Cenni di progettazione*, Tecnologie & Soluzioni
- [22] *Cataloghi e costruttivi barriere antirumore: Tubosider, Fip industriale, Cestaro Bernardo, Società Autostrada Tirrenica p.A.*
- [23] *Cataloghi e costruttivi pannelli: Flysystem, S.I.R. S.p.a.*

Appendice A - Calcoli e costruttivi progetti

A.1 Maschera di chiusura delle barriere (BFT3)

materiale	R _{sn} [MPa]	R _{mn} [MPa]	E [GPa]	A %	ρ [g/cm ³]	ν	μ _d
Al 3103-H14	147,00	163,00	69,00	9,70	2,70	0,33	0,34
n° Snap-fit	2						
F _{ass tot}	50,00 N		F _{ass}	25,00 N		α	25,00°
F _{dis tot}	50,00 N		F _{dis}	25,00 N		β	40,00°
B _{imposto}	2.000,00 mm		Y _{richiesto}	2,00 mm		η	1.5

Tabella A-9: Dati BFT3

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F _y	8,06	N	F _y	8,80	N
L _{min}	10,32	mm	L _{min}	10,63	mm
H	0,07	mm	H	0,08	mm
L _{des}	140,00	mm	L _{des}	140,00	mm
H _{des}	1,00	mm	H _{des}	1,00	mm

Tabella A-10: Riepilogo valori minimi BFT3

I valori scelti per questo modello sono:

$$L = 140,00 \text{ mm}$$

$$H = 1,00 \text{ mm}$$

A.2 Dispositivo Snap-fit Bloccaggio Barriera (DSBB)

materiale	R _{sn} [MPa]	R _{mn} [MPa]	E [GPa]	A %	ρ [g/cm ³]	ν	μ _d
Al 6082	260,00	310,00	69,00	10,00	2,70	0,33	0,34
n° Snap-fit	2						
F _{ass tot}	20,00 N		F _{ass}	10,00 N		α	40,00°
F _{dis tot}	40,00 N		F _{dis}	20,00 N		β	90,00°
B _{imposto}	40,00 mm		Y _{richiesto}	2,00 mm		η	1.5

Tabella A-11: Dati DSBB

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F _y	1,62	N	F _y	20,00	N
L _{min}	12,59	mm	L _{min}	29,12	mm
H	0,24	mm	H	0,71	mm
L _{des}	41,00	mm	L _{des}	41,00	mm
H _{des}	0,79	mm	H _{des}	1,00	mm

Tabella A-12: Riepilogo valori minimi DSBB

I valori scelti per questo modello sono:

$$L = 41,00 \text{ mm}$$

$$H = 1,00 \text{ mm}$$

A.3 Zoccolino pannelli (ZPT1)

materiale	R_{sn} [MPA]	R_{mn} [MPA]	E [GPA]	A %	ρ [g/cm ³]	ν	μ_d
Al 3103-H14	147,00	163,00	69,00	9,70	2,70	0,33	0,34
n° Snap-fit	2						
$F_{ass\ tot}$	200,00 N		F_{ass}	100,00 N		α	30,00°
$F_{dis\ tot}$	200,00 N		F_{dis}	10,00 N		β	40,00°
$B_{imposto}$	1.000,00 mm		$Y_{richiesto}$	2,00 mm		η	1.5

Tabella A-13: Dati ZPT1

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F_y	35,85	N	F_y	36,25	N
L_{min}	21,39	mm	L_{min}	21,47	mm
H	0,31	mm	H	0,31	mm
L_{des}	69,50	mm	L_{des}	69,50	mm
H_{des}	1,00	mm	H_{des}	1,00	mm

Tabella A-14: Riepilogo valori minimi ZPT1

I valori scelti per questo modello sono:

$$L = 69,50 \text{ mm}$$

$$H = 1,00 \text{ mm}$$

A.4 Collegamento pannelli pieno (CPT2A)

materiale	R _{sn} [MPa]	R _{mn} [MPa]	E [GPa]	A %	ρ [g/cm ³]	ν	μ _d
Al 3103-H14	147,00	163,00	69,00	9,70	2,70	0,33	0,34
n° Snap-fit	2						
F _{ass tot}	40,00 N		F _{ass}	20,00 N		α	45,00°
F _{dis tot}	40,00 N		F _{dis}	20,00 N		β	90,00°
B _{imposto}	30,00 mm		Y _{richiesto}	1,00 mm		η	1.5

Tabella A-15: Dati CPT2A

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F _y	6,60	N	F _y	20,00	N
L _{min}	24,68	mm	L _{min}	35,71	mm
H	0,83	mm	H	1,21	mm
L _{des}	44,50	mm	L _{des}	44,50	mm
H _{des}	1,50	mm	H _{des}	1,50	mm

Tabella A-16: Riepilogo valori minimi CPT2A

I valori scelti per questo modello sono:

$$L = 44,50 \text{ mm}$$

$$H = 1,50 \text{ mm}$$

A.5 Collegamento pannelli piastra (CPT3)

materiale	R _{sn} [MPA]	R _{mn} [MPA]	E [GPA]	A %	ρ [g/cm ³]	ν	μ _d
Al 3103-H14	147,00	163,00	69,00	9,70	2,70	0,33	0,34
n° Snap-fit	2						
F _{ass tot}	40,00 N		F _{ass}	20,00 N		α	45,00°
F _{dis tot}	40,00 N		F _{dis}	20,00 N		β	90,00°
B _{imposto}	30,00 mm		Y _{richiesto}	1,00 mm		η	1.5

Tabella A-17: Dati CPT3

Assemblaggio			Disassemblaggio		
F _y	6,60	N	F _y	20,00	N
L _{min}	24,68	mm	L _{min}	35,71	mm
H	0,83	mm	H	1,21	mm
L _{des}	44,50	mm	L _{des}	44,50	mm
H _{des}	1,50	mm	H _{des}	1,50	mm

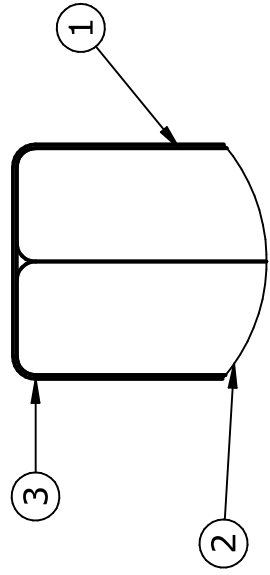
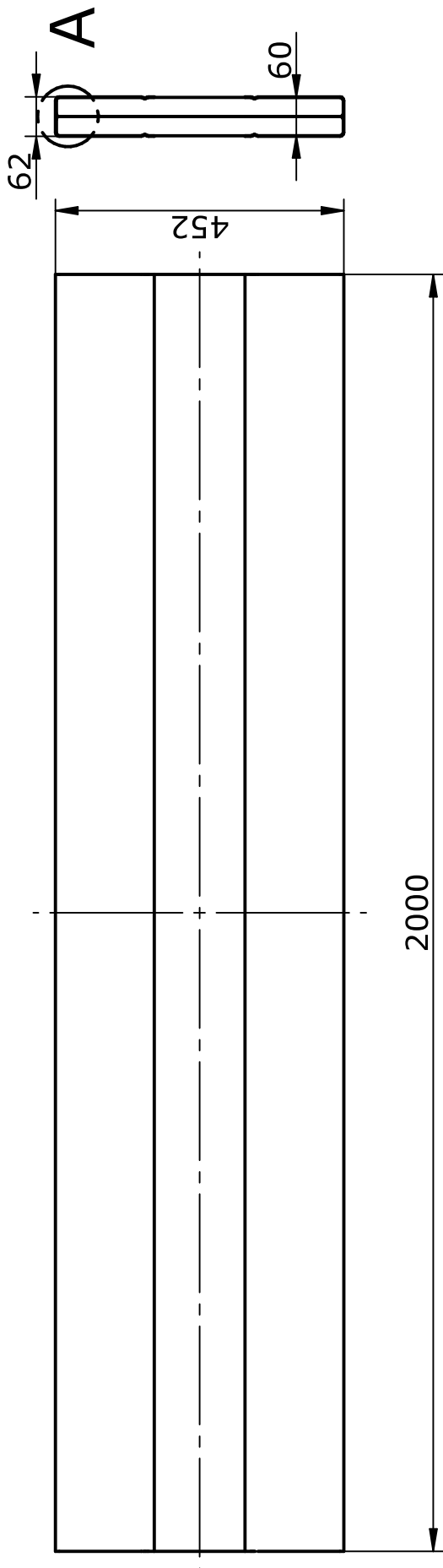
Tabella A-18: Riepilogo valori minimi CPT3

I valori scelti per questo modello sono:

$$L = 44,50 \text{ mm}$$

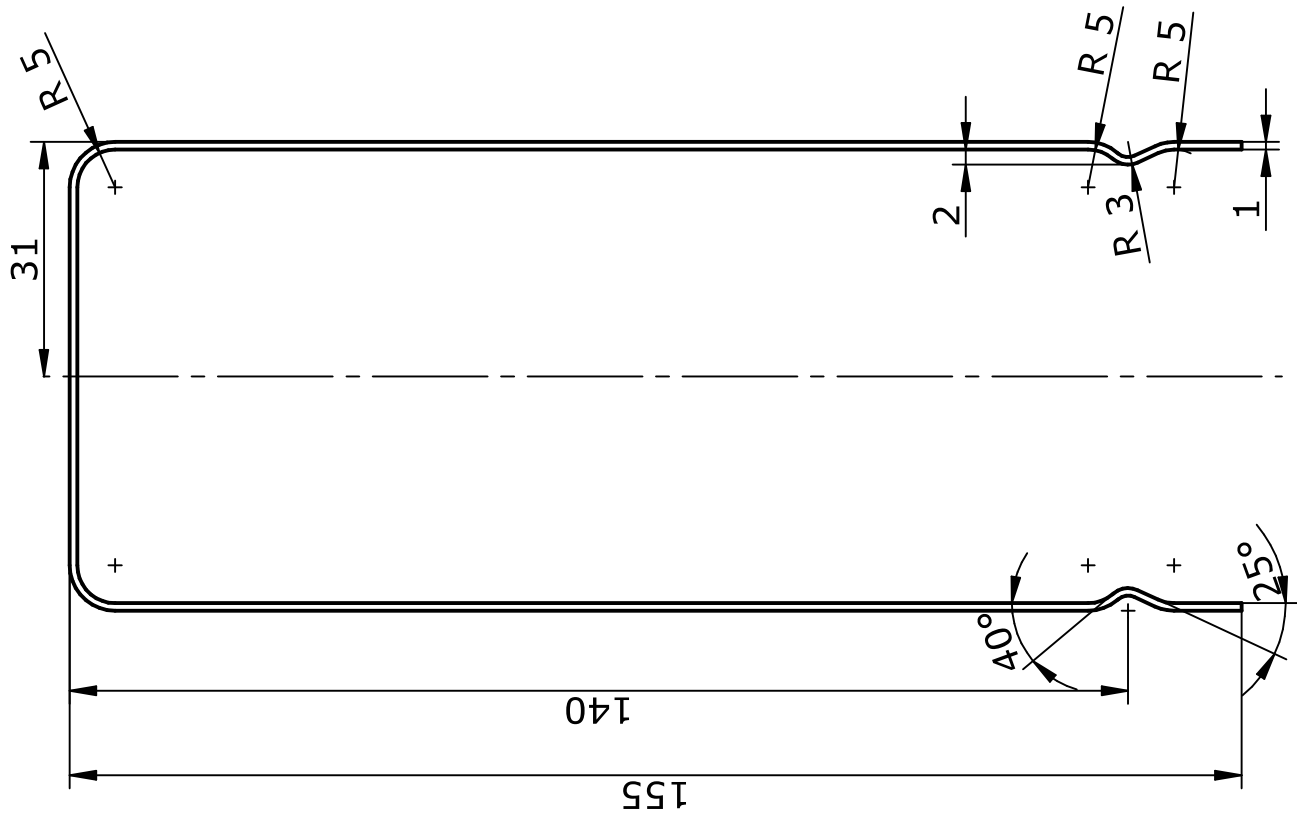
$$H = 1,50 \text{ mm}$$

N°	Titolo	Q.tà	Materiale	Massa
1	Pannello pieno	1	Alluminio 3103 - H14	8,553 kg
2	Pannello forato	1	Alluminio 3103 - H14	8,441 kg
3	Maschera chiusura	2	Alluminio 3103 - H14	1,991 kg

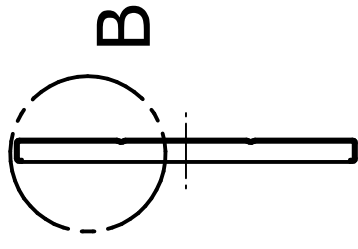
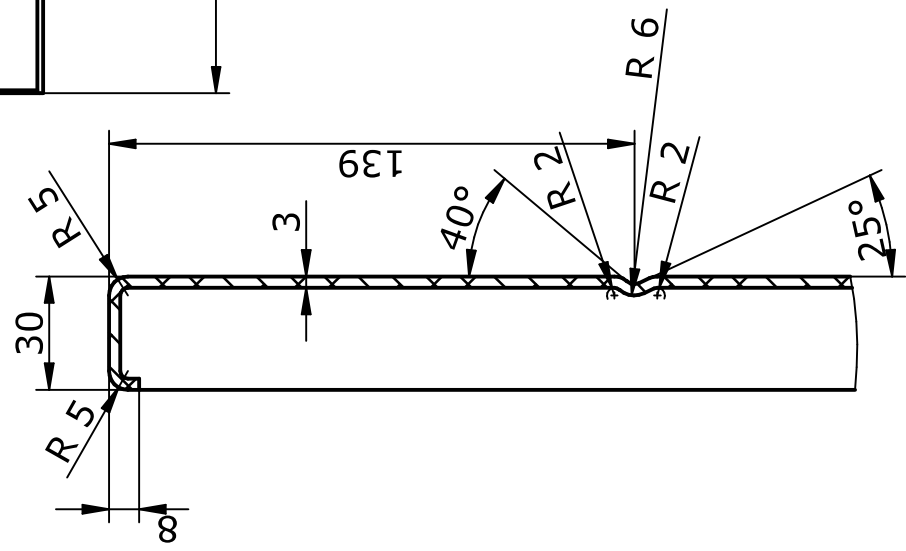
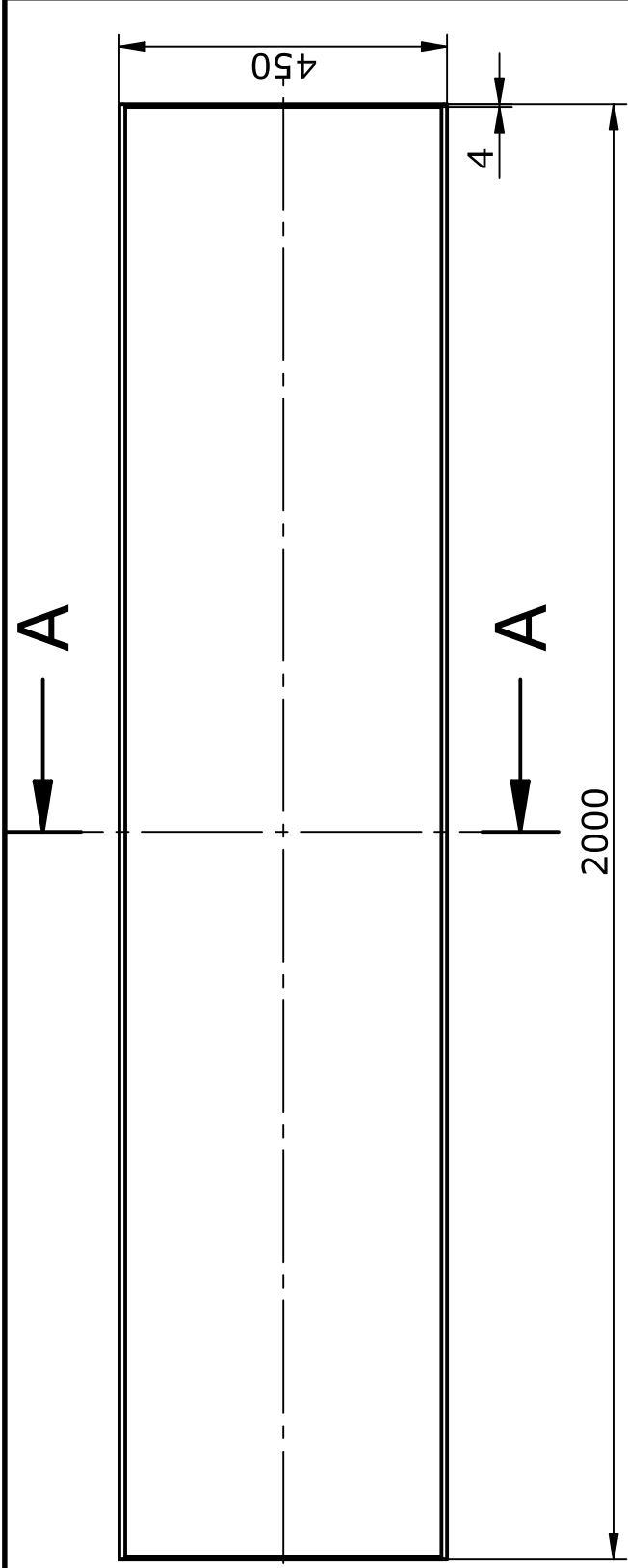


A zoom x 5

Assieme BFT3	
Progetto	Barriere Antirumore
Variante	BFT3 Al
Scala	1:10
Materiale	AL-3103 - H14
Massa	20,977 kg



Maschera di chiusura	
Progetto	Barriere Antirumore
Variante	BFT3 AL
Scala	1:1
Materiale	Al-3103 - h14
Massa	1,991 kg
Lunghezza Profilo	2000,00 mm

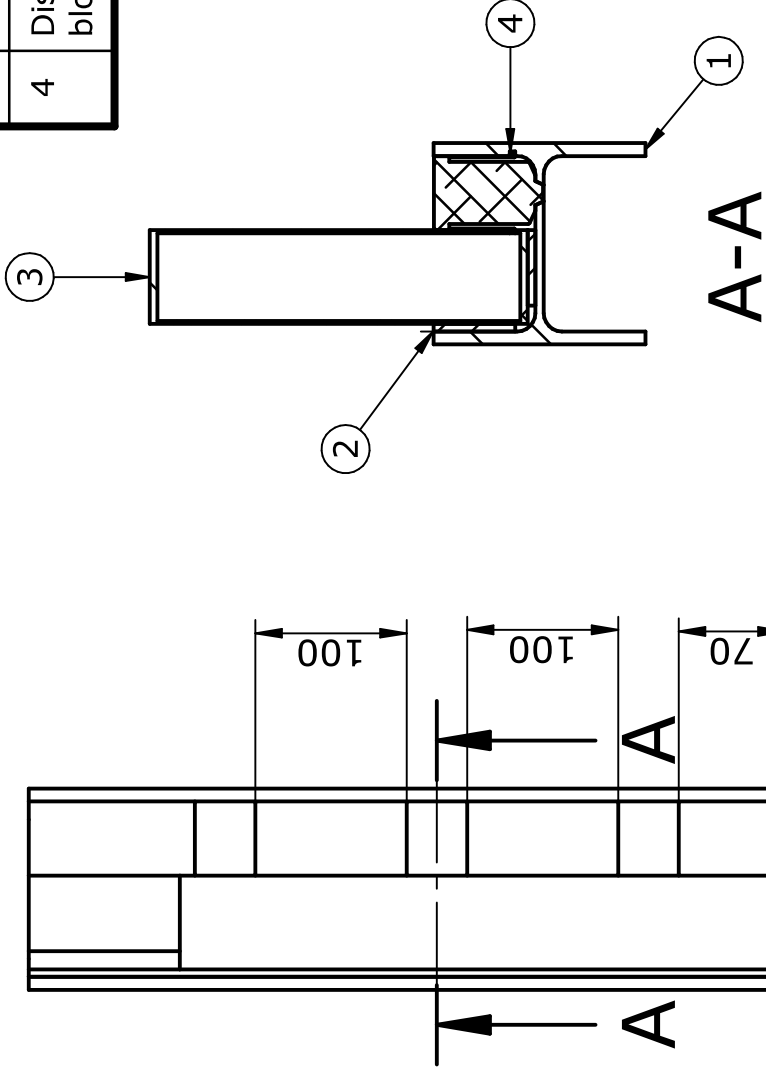


A-A

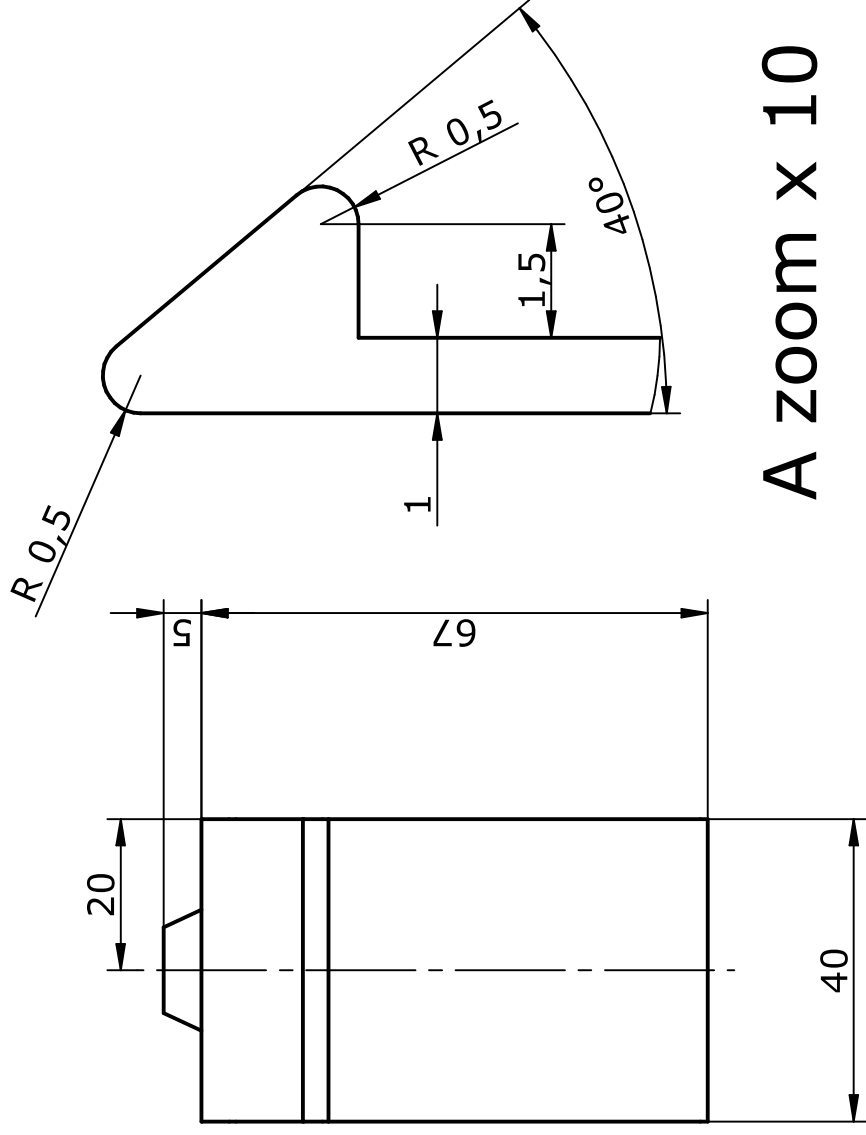
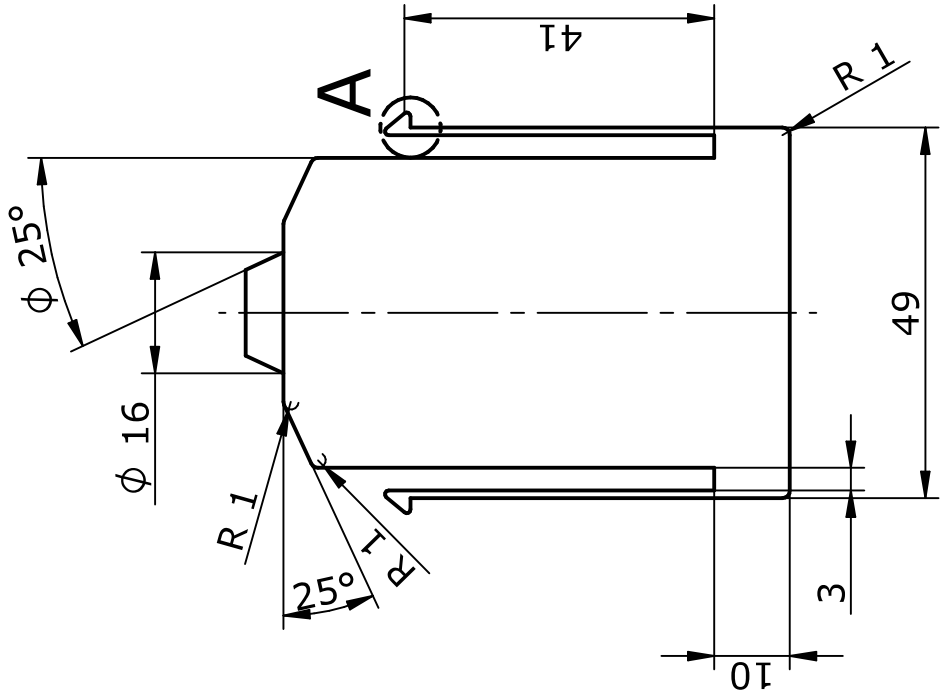
Pannello Laterale	
Progetto	Barriere Antirumore
Variante	BFT3 AL
Scala	1:10
Materiale	AL 3103 - H14
Massa	8,553 kg
Lunghezza Profilo	2000,00 mm

B zoom X 5

N°	Titolo	Q.tà	Materiale
1	Montante	1	S275
2	Gomma	1	EPDM
3	Barriera antirumore	1	Alluminio 3103 - H14
4	Dispositivo di bloccaggio	3	AL 6082

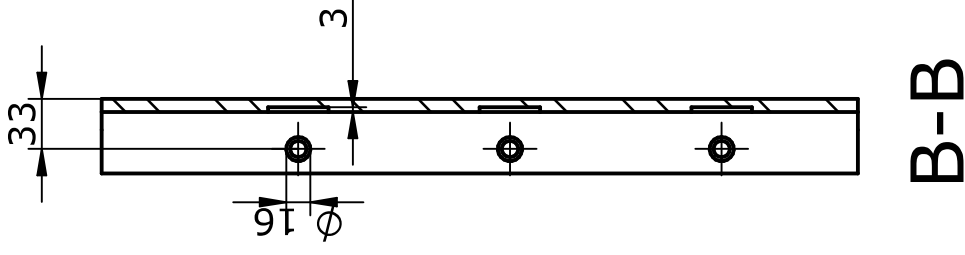
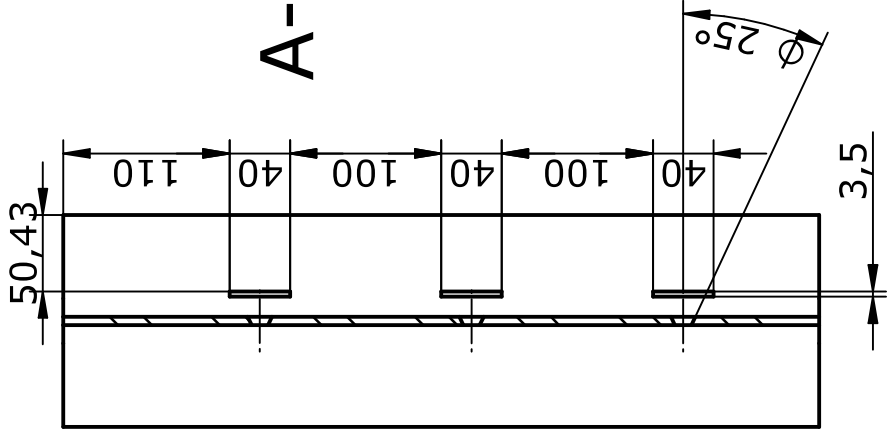
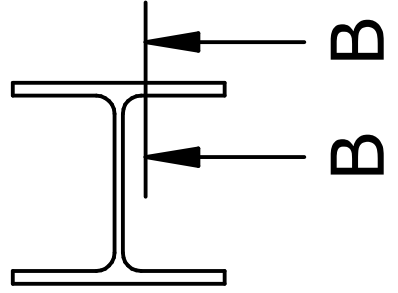
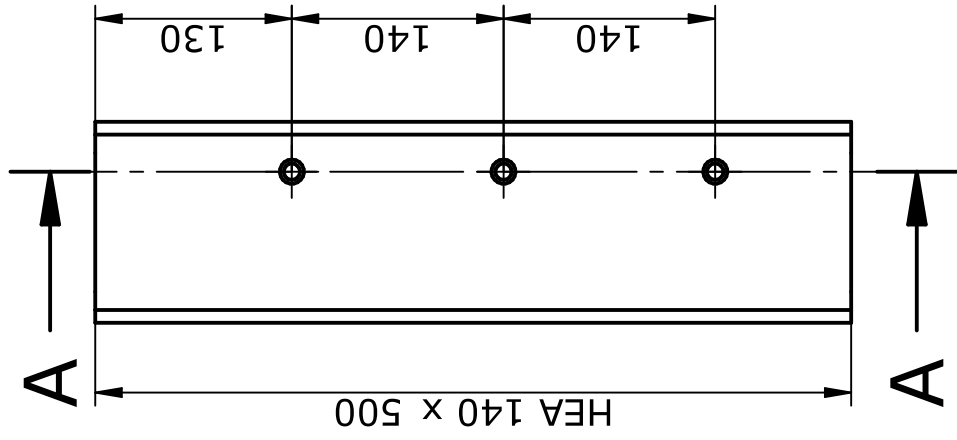


Assieme barriera antirumore bloccata	
Progetto	Barriere antirumore
Variante	DSBB
Scala	1:5

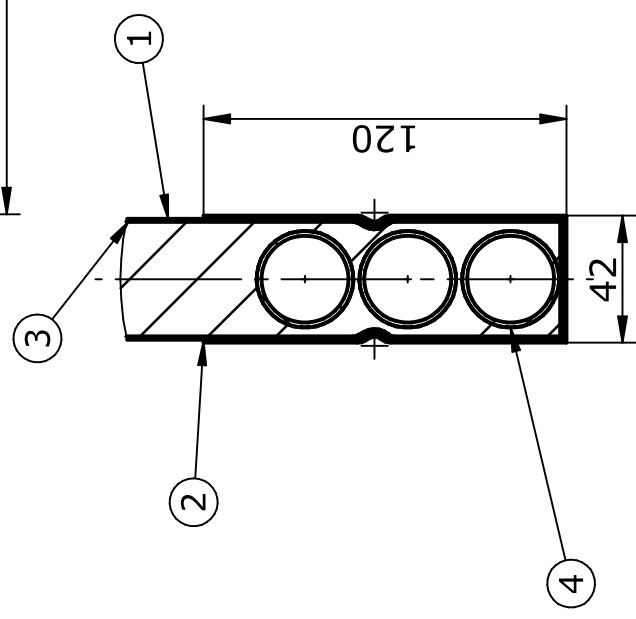
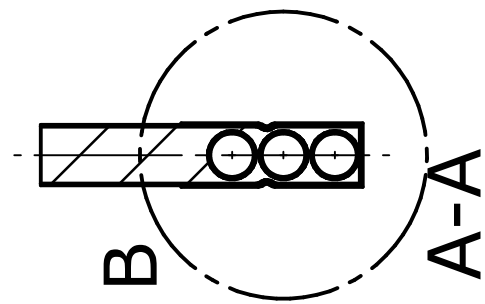
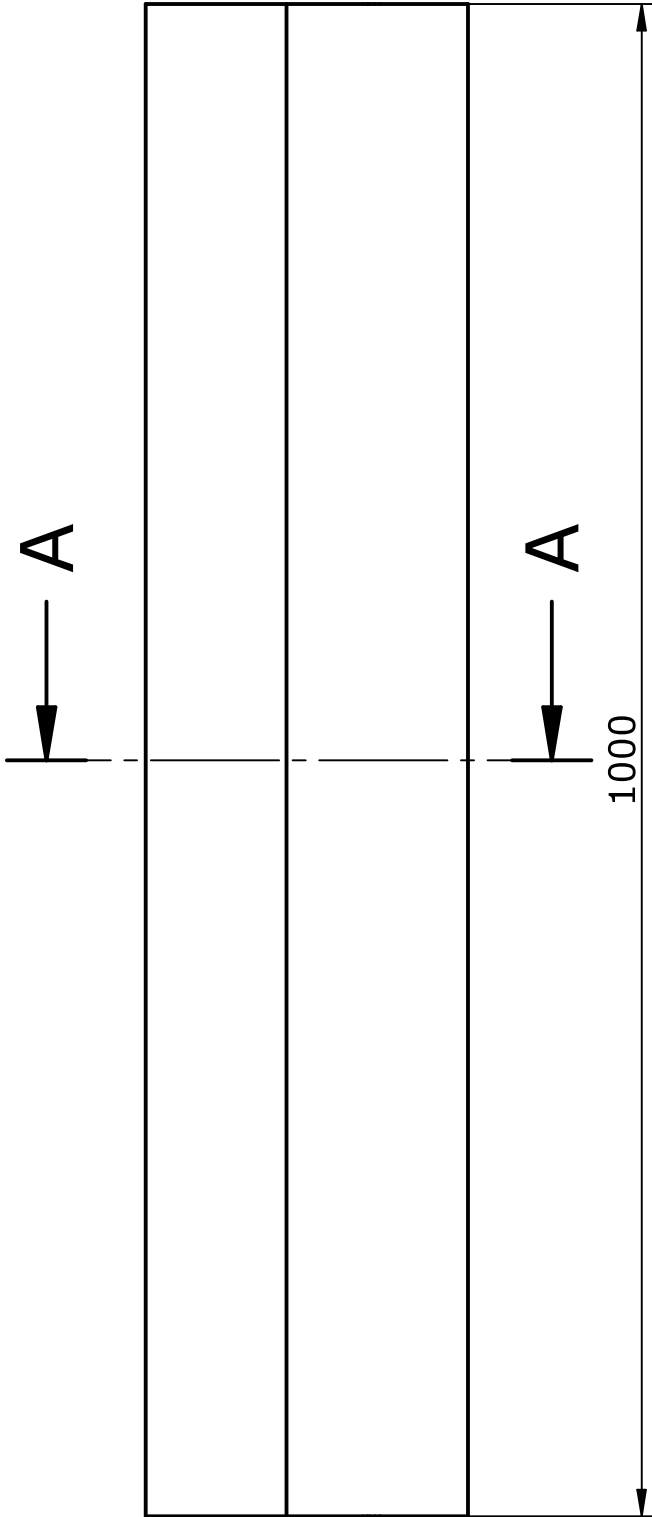


A zoom x 10

Dispositivo di Bloccaggio	
Progetto	Barriere antirumore
Variante	DSBB
Scala	1:1
Materiale	AL 6082
Massa	0,315 kg



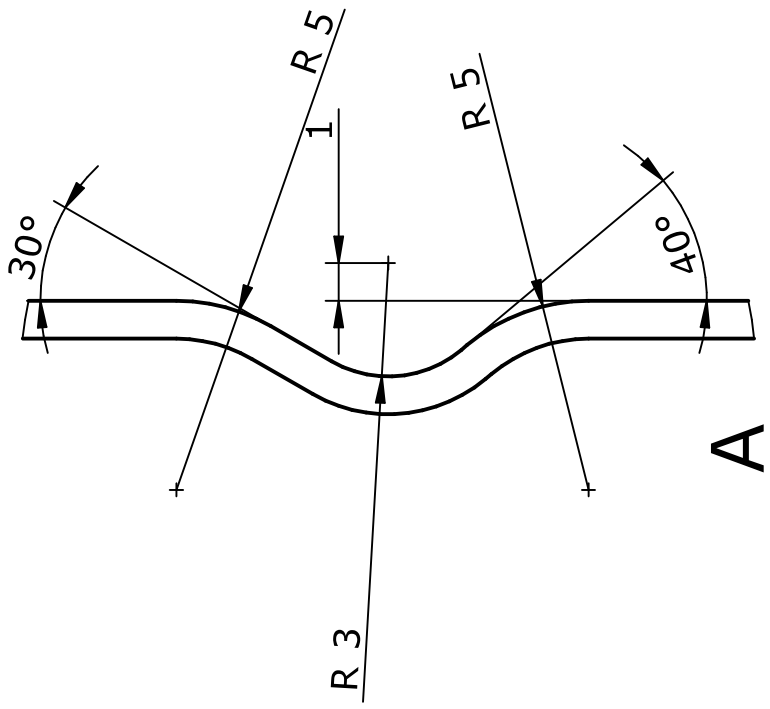
Montante HEA 140	
Progetto	Barriere antirumore
Variante	DSBB
Scala	1:10
Materiale	S275
Massa	12,27 kg



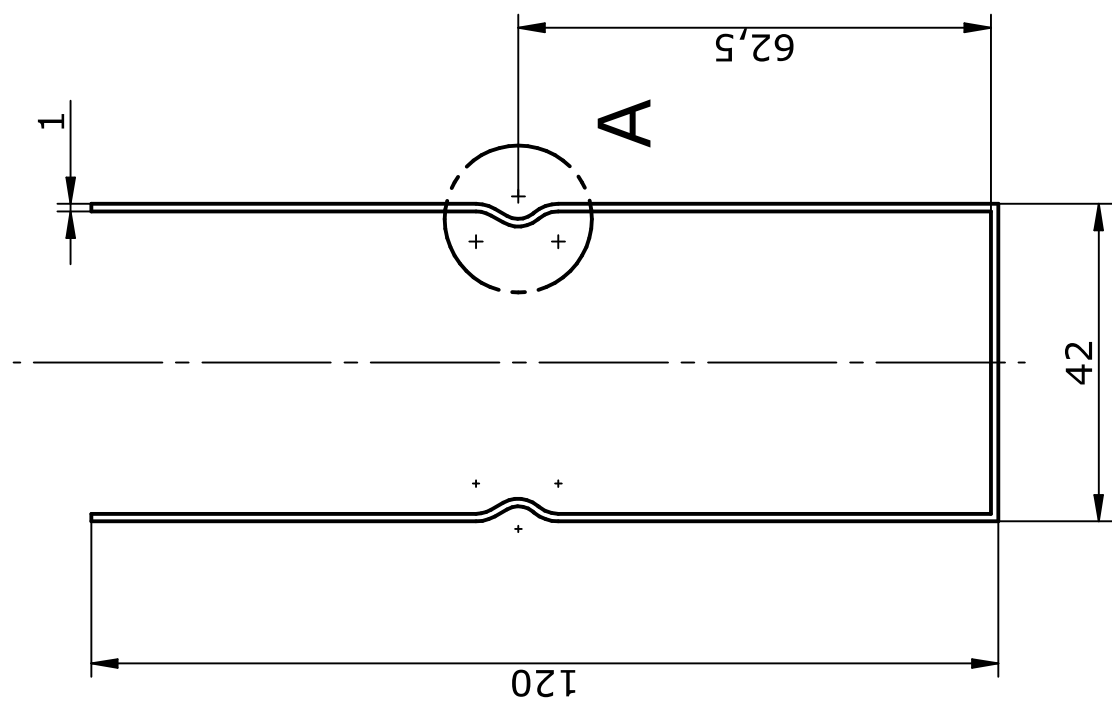
N°	Titolo	Q.tà	Materiale
1	Pannello	1	Alluminio 3103 - H14
2	Zoccolino snapfit	1	Alluminio 3103 - H14
3	Materiale ignifugo	1	Poliuretano Rigido
4	Tube D 32	3	PVC

B zoom X 2

Assieme Zoccolino	
Progetto	Pannelli fieristici ignifughi
Variante	ZPT1
Scala	1:5

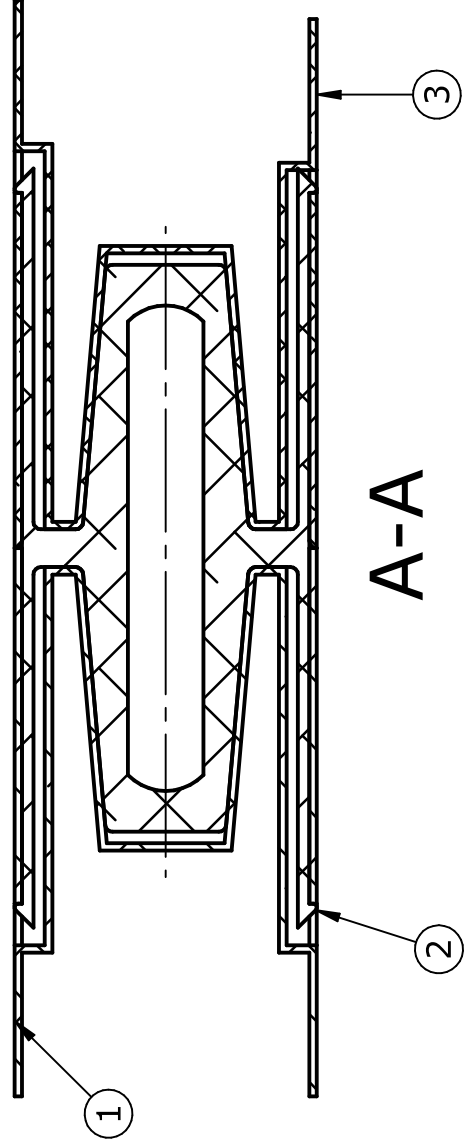
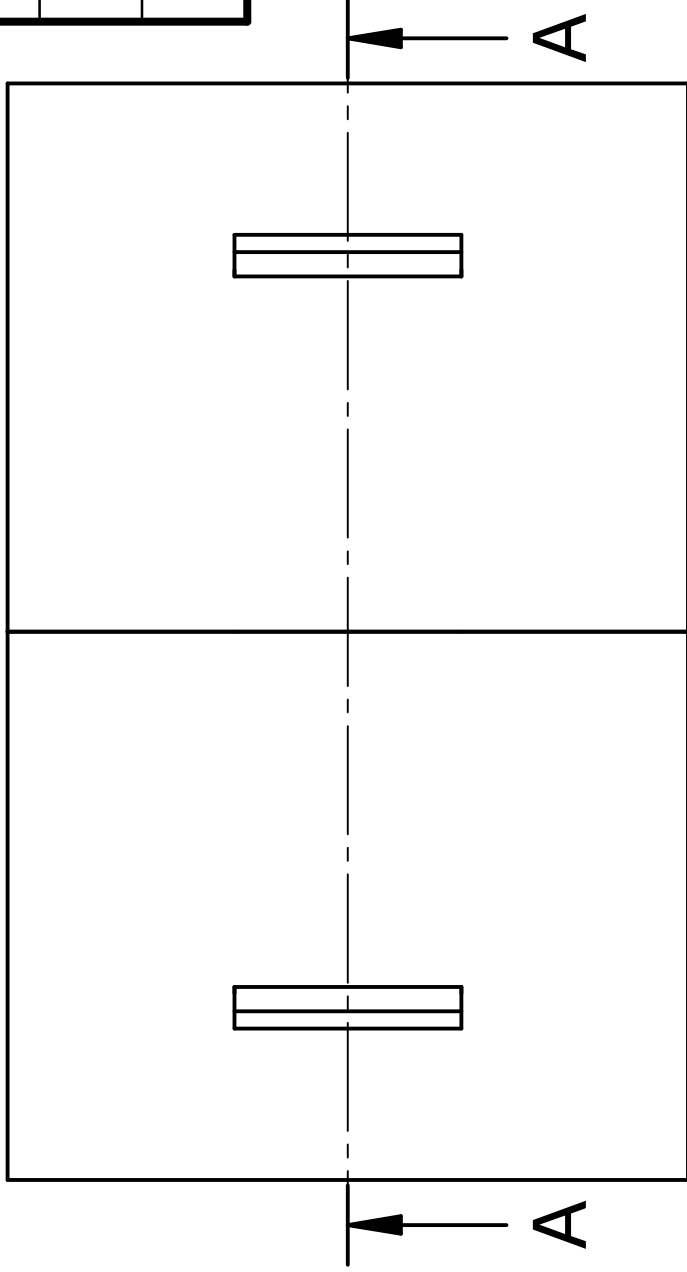


A

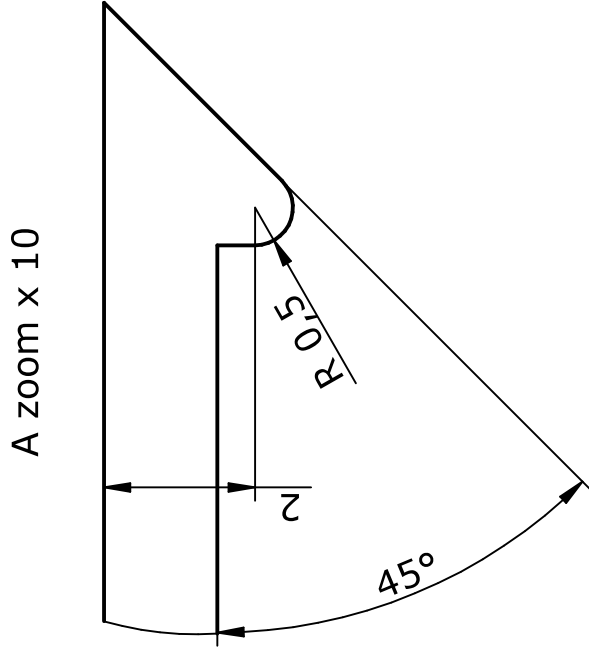
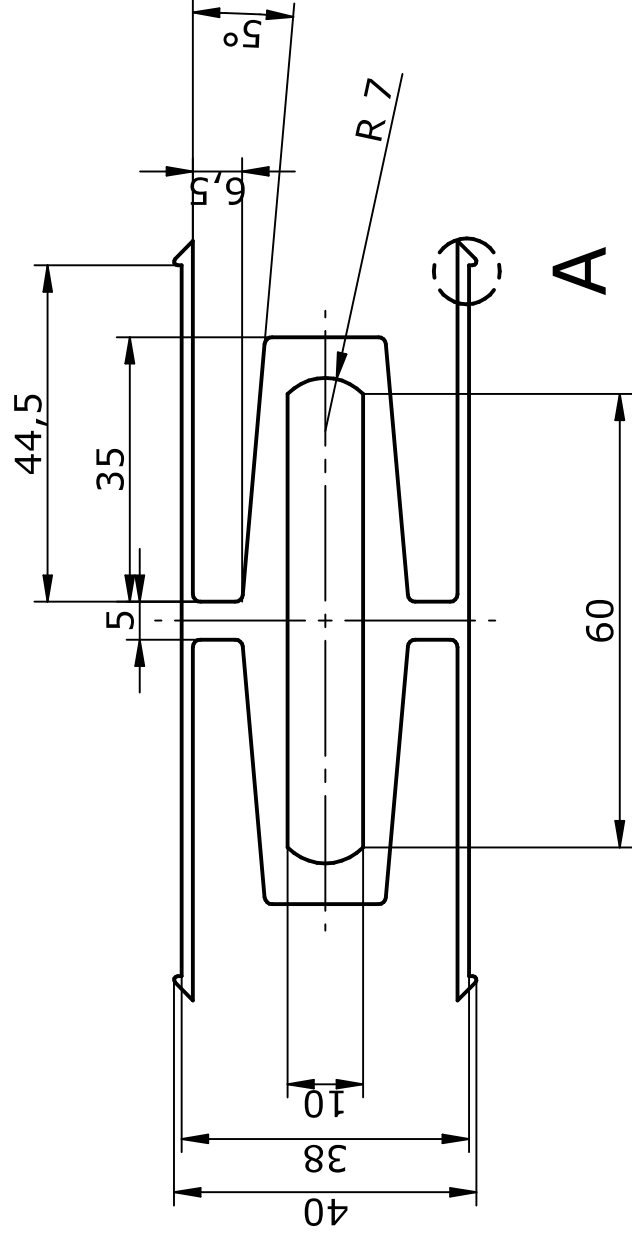
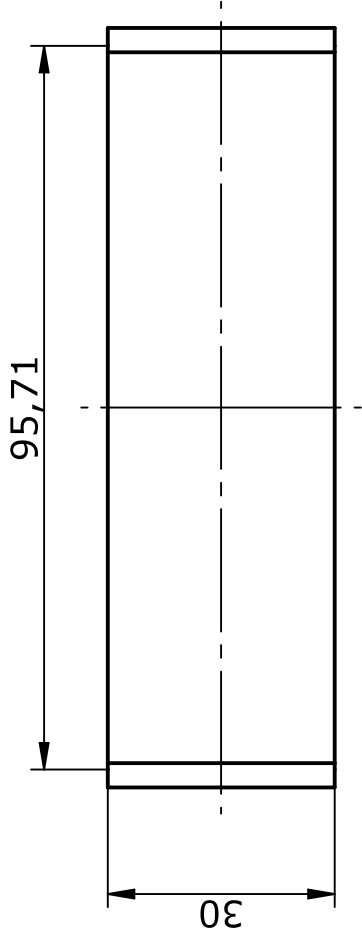


Zoccolino Pannelli	
Progetto	Pannelli fieristici ignifughi
Variante	ZPT1
Scala	1:1
Materiale	Al 3103 - H14
Massa	0,764 kg
Lunghezza Profilo	1000,00 mm

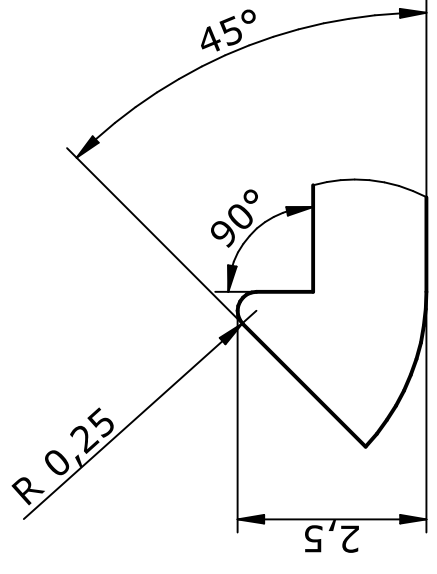
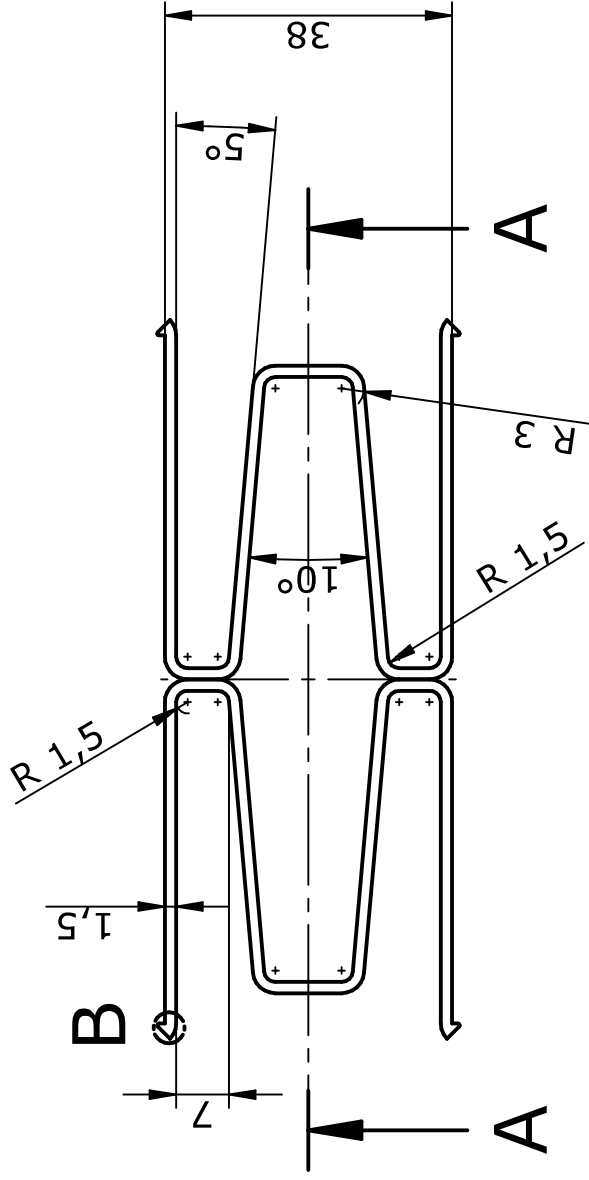
N°	Titolo	Q.tà	Materiale
1	Profilo femmina	1	Alluminio 3103 - H14
2	Snapfit collegamento	1	Alluminio 3103 - H14
3	Profilo maschio	1	Alluminio 3103 - H14



Assieme CPT2A	
Progetto	Pannelli fieristici ignifughi
Variante	CPT2A
Scala	1:1
Materiale	Alluminio 3103 - H14
Raggi non quotati	1,00 mm



Snapfit Collegamento	
Progetto	Pannelli fieristici ignifughi
Variante	CPT2A
Scala	1:1
Materiale	Al 3103 H14
Massa	0,096 kg
Raggi non quotati	1,00 mm



B zoom x 10

A-A

Dispositivo collegamento CPT3	
Progetto	Pannelli fieristici ignifughi
Variante	CPT3
Scala	1:1
Materiale	Al 3103 - H14
Massa	0,048 kg