



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCATRONICA

---

*TESI DI LAUREA MAGISTRALE*

Concept design del sistema di trasporto  
ausiliario a servizio dell'Hot Cell del progetto  
SPES

*Relatore:* Prof. Roberto Oboe

*Correlatori:* Ing. Giordano Lilli  
Dott. Alberto Andrighetto

*Laureando:* Simone Tagliapietra  
1236515-IMC

ANNO ACCADEMICO: 2021-22



## SOMMARIO

---

Il progetto SPES (*Selective Production of Exotic Species*) si propone la realizzazione di una facility di tipo ISOL presso i Laboratori Nazionali di Legnaro dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: l'obiettivo è la produzione di radionuclidi, dall'interazione di un fascio protonico con target particolari, ad elevata intensità e selettività per attività di ricerca in diversi ambiti. A causa del loro ciclo di vita, i bersagli devono essere movimentati in diverse stazioni, da cui la necessità di progettare e integrare opportuni sistemi di movimentazione automatica. Questo lavoro di tesi si pone come obiettivo il concept design di un sistema di trasporto ausiliario per le *Target Ion Source (TIS) unit* alla fine del loro ciclo di vita, ossia quando devono essere condotte sino all'Hot Cell per essere disassemblate e smaltite. In particolare, verrà presentata la progettazione del sistema e la validazioni di alcune componenti tramite analisi agli elementi finiti. Infine, verrà realizzata una rete di comunicazione tra PLC di sicurezza, per emulare la comunicazione tra il sistema centrale ed il veicolo progettato.



## RINGRAZIAMENTI

---

Un doveroso grazie va alla mia famiglia per avermi permesso di intraprendere e concludere questo percorso ed, in particolare, a mio padre per avermi insegnato a non arrendermi mai, a mia madre per avermi insegnato che *"le cose o si fanno bene o si fa a meno di farle"* ed al mio fratellino che a casa mi riempie di parole per la mia scarsa praticità, ma sotto sotto è orgoglioso di me.

Un grande grazie va alla mia ragazza, Giorgia, per essermi stata vicina ed avermi spronato per tutti questi anni di studio, oltre ad essere sempre riuscita a farmi sorridere anche quando non pensavo di esserne in grado.

Un caloroso abbraccio va ai miei nonni ed ai miei zii, per l'affetto che mi hanno sempre dimostrato.

Desidero ringraziare l'ingegner Giordano Lilli per la disponibilità e la pazienza mostratami lungo tutto questo percorso, oltre a tutti i consigli atti a migliorare il mio approccio nella realizzazione di un progetto.

Vorrei ringraziare il professor Roberto Oboe ed il dottor Alberto Andrighetto per avermi concesso l'opportunità di svolgere la tesi presso i LNL dell'INFN e per avermi seguito in questo percorso.

Inoltre, vorrei ringraziare tutte le straordinarie persone conosciute in questi 6 mesi, ossia Alberto, Lisa, Elisabeth, Mike ed i tesisti Marco, Luigi e Michael: ho avuto modo di confrontarmi e di crescere in un ambiente dinamico e attivo, il tutto reso possibile grazie a loro e Giordano.

Infine, desidero ringraziare tutti i miei amici e tutte le altre persone che mi sono state vicine in questi anni.



## INDICE

---

Introduzione	1
1 I Radioactive Ion Beams e il progetto SPES	3
1.1 Introduzione	3
1.2 Il principio alla base della tecnica ISOL	6
1.3 La facility SPES	7
1.3.1 Le fasi del progetto	7
1.3.2 Il target e la produzione, estrazione e ionizzazione dei fasci	9
1.3.3 Il selettore di velocità e il separatore di massa	12
1.4 Campi di applicazione	15
1.4.1 Fisica nucleare	15
1.4.2 Astrofisica	15
1.4.3 Medicina	16
1.4.4 Fisica dello stato solido	17
2 Sistemi di handling a servizio del progetto SPES	19
2.1 Introduzione	19
2.2 Layout dell'edificio	19
2.3 Ciclo di vita della Target Ion Source (TIS) Unit	21
2.4 Movimentazione della TIS unit al piano inferiore	22
2.4.1 Horizontal Handling Machine (HHM)	23
2.4.2 Passbox e Supply Point (SP)	26
2.5 Obiettivo della tesi	27
2.5.1 Percorso e vincoli imposti	27
2.5.2 Ipotesi progettuali	29
3 Progettazione del sistema di trasporto ausiliario	31
3.1 Introduzione al problema	31
3.2 Possibili soluzioni e scelta effettuata	31
3.2.1 Sistema di apertura a ghigliottina o a scorrimento laterale	32
3.2.2 Sistema di apertura a battente o a ponte levatoio	32
3.2.3 Apertura a pantografo	33
3.2.4 Considerazioni	33
3.3 Dimensionamento del sistema di apertura a pantografo	34
3.3.1 Analisi cinematica	34
3.3.2 Scelta degli attuatori	37
3.3.3 Dimensionamento della sezione delle braccia	44
3.3.4 Dimensionamento dei perni e relative unioni	54
3.3.5 Dimensionamento delle braccia di supporto, relativi perni e saldature	62
3.3.6 Scelta dei cuscinetti a sfera e delle boccole	65
3.4 Dimensionamento del nuovo sarcofago	70
3.4.1 Lo stato dell'arte	70

3.4.2	Dimensionamento della struttura principale	72
3.4.3	Aggiunta di un supporto laterale per i perni	77
3.4.4	Scelta della guarnizione	82
3.4.5	Sistema realizzato	84
3.5	Verifiche strutturali tramite FEA	85
3.5.1	Introduzione	85
3.5.2	Analisi dei componenti più critici	86
3.6	Dimensionamento del carrello manuale	90
3.6.1	Dimensionamento dello scheletro di sostegno	90
3.6.2	Scelta delle ruote	91
3.6.3	Verifica del manico e relative saldature	94
3.6.4	Sistema realizzato	95
3.6.5	Caratteristiche e vincoli per la scelta dell'AGV	97
4	Comunicazione tra PLC di sicurezza	99
4.1	Sensoristica da integrare	99
4.2	Introduzione ai PLC	100
4.2.1	Struttura ed impiego in ambito industriale	101
4.2.2	Differenza tra PLC convenzionali e di sicurezza	103
4.3	Protocollo di comunicazione FSoE	105
4.4	Testbench e software	106
4.4.1	Hardware utilizzato	106
4.4.2	Software implementato	108
4.4.3	Verifica sperimentale e considerazioni	110
	Conclusioni	115
	Lista degli acronimi	117

## Appendici

A	Risultati intermedi	121
B	Approfondimenti	133
B.1	Studio di una trave a doppio incastro	133
C	Datasheet	135
C.1	Pressione-forza cilindro pneumatico	136
C.2	Cilindro DSBC	139
C.3	Snodo sferico	146
C.4	Flangia oscillante	147
C.5	Sensore di prossimità	148
C.6	Cavo di collegamento	150
C.7	Regolatore di portata	152
C.8	Forza molla a gas	153
C.9	Molla a gas WM-G	154
C.10	Snodi sferici	155
C.11	Cuscinetto a sfere a due corone	156
C.12	Cuscinetto a sfere a singola corona	158
C.13	Boccola	160
C.14	Golfare DIN 580	161
C.15	Guarnizione EPDM	163
C.16	Ruote	166
C.17	Switch	168



c.18	Elettrovalvola di sicurezza	171
D	Tavole realizzate	175
D.1	Esploso	177
D.2	Saldature (1)	178
D.3	Saldature (2)	179
D.4	Base esterna	180
D.5	Parete esterna destra	181
D.6	Parete esterna sinistra	182
D.7	Lastra piombo laterale (1)	183
D.8	Lastra piombo laterale (2)	184
D.9	Parete laterale interna	185
D.10	Parete int/ext retro	186
D.11	Lastra piombo retro	187
D.12	Lastra piombo base	188
D.13	Parete interna base	189
D.14	Estensione per la molla	190
D.15	Telaio	191
D.16	Traverso anteriore inferiore	192
D.17	Montante	193
D.18	Traverso destro superiore	194
D.19	Traverso laterale inferiore	195
D.20	Traverso sinistro superiore	196
D.21	Traverso posteriore inferiore	197
D.22	Perno braccio-sarcofago	198
D.23	Traverso ant/post superiore	199
D.24	Coperchio	200
D.25	Parete superiore	201
D.26	Lastra piombo	202
D.27	Parete inferiore	203
D.28	Replica Schunk (supporto)	204
D.29	Replica Schunk (anello)	205
D.30	Parete anteriore apribile	206
D.31	Parte esterna	207
D.32	Lastra piombo	208
D.33	Parte interna	209
D.34	Perno braccio-parete frontale	210
D.35	Perno braccio supporto	211
D.36	Braccia principali e accessori	212
D.37	Braccia principali	213
D.38	Perno braccio-cilindro	214
D.39	Perno braccio-molla	215
D.40	Braccia supporto e accessori	216
D.41	Braccia supporto	217
D.42	Supporto laterale dx con perni	218
D.43	Supporto laterale dx	219
D.44	Perno cilindro-sarcofago	220
D.45	Perno molla-sarcofago	221
D.46	Supporto laterale sx con perni	222
D.47	Supporto laterale sx	223
D.48	Complessivo	224

D.49 Esploso piastra d'appoggio	225
D.50 Piastra inferiore	226
D.51 Piastra superiore	227
D.52 Scheletro di supporto	228
D.53 Travi esterne	229
D.54 Travi interne	230
D.55 Piastra attacco ruote	231
D.56 Manico	232
D.57 Montante esterno	233
D.58 Traverso	234
D.59 Montante interno	235
Bibliografia	237

## ELENCO DELLE FIGURE

---

Figura 1.1	La struttura dell'atomo.	3	
Figura 1.2	Carta dei nuclidi.	4	
Figura 1.3	Funzionamento di una facility di tipo ISOL.	6	
Figura 1.4	Ciclotrone Best 70p.	8	
Figura 1.5	Struttura di un radiofarmaco.	9	
Figura 1.6	Target Ion Source (TIS) unit.	9	
Figura 1.7	Target UCx [11]. a) CAD del target con indicazione delle componenti. b) Immagine del tubicino in grafite contenente i dischi aperto.	10	
Figura 1.8	Percorso della corrente all'interno della TIS unit.	10	10
Figura 1.9	Nuclidi estratti al variare della sorgente di ionizzazione.	11	
Figura 1.10	Produzione dei RIB nella TIS unit.	12	
Figura 1.11	Forze agenti su una carica immersa in un campo elettromagnetico.	12	
Figura 1.12	Combinazione di un selettore di velocità con uno separatore di massa.	14	
Figura 1.13	Schema riassuntivo del progetto SPES.	14	
Figura 2.1	Planimetria del piano -1 dell'edificio SPES.	19	
Figura 2.2	Aree funzionali del piano -1 dell'edificio SPES.	20	
Figura 2.3	Planimetria del piano 1 dell'edificio SPES.	21	
Figura 2.4	Aree funzionali del piano 1 dell'edificio SPES.	21	
Figura 2.5	Ciclo temporale per la produzione di fasci ad alta efficienza.	22	
Figura 2.6	Ciclo di vita di una TIS unit.	22	
Figura 2.7	CAD dell'Horizontal Handling Machine.	23	
Figura 2.8	Percorso di carico di una nuova TIS unit sul FE.	24	
Figura 2.9	Percorso di deposito di una TIS unit attivata nel TSS.	25	
Figura 2.10	Percorso di scarico di una TIS unit esausta sul SP.	25	
Figura 2.11	CAD del locale So16 e della porta di ingresso con la passbox.	26	
Figura 2.12	CAD del Supply Point.	27	
Figura 2.13	Fase 1: carico della TIS sul carrello con il sarcofago.	28	
Figura 2.14	Fase 2: spostamento del carrello all'interno dell'elevatore.	28	
Figura 2.15	Fase 3: spostamento del carrello dentro alla passbox dell'Hot Cell.	29	
Figura 3.1	Esempio di apertura a ghigliottina.	32	
Figura 3.2	Esempio di apertura battente.	32	
Figura 3.3	Esempio di apertura a pantografo.	33	

Figura 3.4	Meccanismo articolato associato all'apertura a pantografo.	35
Figura 3.5	Meccanismo articolato modificato.	37
Figura 3.6	Angolo di spinta degli attuatori.	38
Figura 3.7	Cilindro pneumatico <b>DSBC-40-200-PPVA-N3</b> .	40
Figura 3.8	Snodo sferico <b>SGS-M12X1.25</b> .	41
Figura 3.9	Flangia oscillante <b>SNCS-40</b> .	42
Figura 3.10	Sensore di prossimità <b>SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D</b> .	42
Figura 3.11	Cavo di collegamento <b>NEBU-M8G3-K-2.5-LE3</b> .	43
Figura 3.12	Regolatore di portata <b>GRLA-1/4-QS-8-D</b> .	43
Figura 3.13	Molla a gas <b>WM-G-40-100 (41)</b> .	44
Figura 3.14	CAD dell'estensione per la molla a gas.	44
Figura 3.15	Sollecitazioni a cui risultano sottoposte le braccia del meccanismo di apertura.	45
Figura 3.16	Rielaborazione delle sollecitazioni a cui risultano sottoposte le braccia del meccanismo di apertura.	46
Figura 3.17	Diagramma dello sforzo normale (salita).	47
Figura 3.18	Diagramma dello sforzo di taglio (salita).	47
Figura 3.19	Diagramma del momento flettonico (salita).	48
Figura 3.20	Diagramma dello sforzo normale (discesa).	48
Figura 3.21	Diagramma dello sforzo di taglio (discesa).	48
Figura 3.22	Diagramma del momento flettonico (discesa).	49
Figura 3.23	Punti critici della sezione.	50
Figura 3.24	CAD delle braccia del sistema di apertura frontale.	53
Figura 3.25	CAD del perno di connessione tra braccio e sarcofago.	56
Figura 3.26	CAD del perno di connessione tra braccio e parete frontale.	56
Figura 3.27	CAD del perno di connessione tra cilindro e sarcofago.	57
Figura 3.28	CAD del perno di connessione tra molla e sarcofago.	57
Figura 3.29	Esempio di saldatura ad angolo.	59
Figura 3.30	Estrusione di supporto per il posizionamento corretto dei perni.	60
Figura 3.31	CAD del perno di connessione tra cilindro e braccio.	61
Figura 3.32	CAD del perno di connessione tra molla e braccio.	61
Figura 3.33	Unione bullonata dei perni di connessione tra attuatori e braccio.	62
Figura 3.34	Esempio di cava per seeger.	63
Figura 3.35	CAD delle braccia di supporto.	64
Figura 3.36	CAD dei perni per le braccia di supporto.	65
Figura 3.37	Cuscinetto a sfere a due corone <b>4205 ATN9</b> .	66
Figura 3.38	Cuscinetto a sfere a singola corona <b>61900</b> .	67

Figura 3.39	Sistema equivalente usato per la verifica dell'angolo di inclinazione. 68
Figura 3.40	Boccole <b>JBHD5-5</b> . 69
Figura 3.41	CAD del sarcofago attuale. 70
Figura 3.42	CAD di una sezione del sarcofago attuale. 71
Figura 3.43	CAD della vista dall'alto del sarcofago attuale. 71
Figura 3.44	CAD del coperchio del nuovo sarcofago (con sezione). 72
Figura 3.45	CAD della parete frontale del nuovo sarcofago (con sezione). 73
Figura 3.46	CAD del telaio del nuovo sarcofago. 74
Figura 3.47	CAD del traverso superiore laterale del telaio. 74
Figura 3.48	CAD della struttura fissa del nuovo sarcofago. 75
Figura 3.49	CAD della sezione delle pareti del nuovo sarcofago. 75
Figura 3.50	Golfare zincato. 76
Figura 3.51	Forze scaricate sul telaio durante il sollevamento con i golfari. 77
Figura 3.52	Geometria della piastra di supporto. 78
Figura 3.53	CAD della piastra di supporto per i perni. 79
Figura 3.54	Geometria dell'estrusione della base e forze/momenti presenti. 80
Figura 3.55	Guarnizione EPDM. 83
Figura 3.56	Posizionamento della guarnizione EPDM. 83
Figura 3.57	Sarcofago a supporto dell'Hot Cell (chiuso, con golfari, vista isometrica). 84
Figura 3.58	Sarcofago a supporto dell'Hot Cell (aperto, senza golfari, vista isometrica). 84
Figura 3.59	Sarcofago a supporto dell'Hot Cell (chiuso, con golfari, vista laterale). 85
Figura 3.60	Mesh delle braccia principali del meccanismo di apertura. 87
Figura 3.61	Tensione sulle braccia principali del meccanismo di apertura. 87
Figura 3.62	Deformazione delle braccia principali del meccanismo di apertura. 88
Figura 3.63	Mesh della struttura fissa del sarcofago. 88
Figura 3.64	Tensione sulla struttura fissa del sarcofago. 89
Figura 3.65	Deformazione della struttura fissa del sarcofago. 89
Figura 3.66	CAD dello scheletro di base del carrello manuale. 90
Figura 3.67	CAD della base di appoggio del carrello manuale. 91
Figura 3.68	Ruote <b>Delta 3642IEP160P63</b> . 92
Figura 3.69	CAD delle piastre di attacco per i supporti delle ruote. 92

Figura 3.70	Struttura equivalente per la verifica statica dei blocchetti di attacco. 93
Figura 3.71	CAD del manico del carrello. 94
Figura 3.72	Carrello manuale a servizio dell'Hot Cell (vista isometrica). 95
Figura 3.73	Carrello manuale a servizio dell'Hot Cell (vista laterale). 96
Figura 3.74	Carrello manuale con sarcofago a servizio dell'Hot Cell (vista isometrica). 96
Figura 3.75	Esempio di AGV. 97
Figura 4.1	Switch <b>MP320-1MS27</b> . 99
Figura 4.2	Switch <b>MP320-5MAL</b> . 100
Figura 4.3	Esempio di PLC Sigmatek: moduli convenzionali e di sicurezza. 102
Figura 4.4	Differenze tra un PLC convenzionale ed uno di sicurezza. 104
Figura 4.5	Confronto tra logica a relè e FSoE. 105
Figura 4.6	Organizzazione dei dati trasmessi nel black channel. 106
Figura 4.7	A sinistra è mostrato il PLC Master, a destra quello Slave. 107
Figura 4.8	LED e fungo di emergenza collegati al PLC Master. 107
Figura 4.9	Accessori collegati al PLC Slave: a sinistra è mostrato il servo-drive <b>Lexium 32M</b> , a destra l'elettrovalvola <b>MX2-1/2V1621EC</b> . 108
Figura 4.10	Programma implementato nel PLC Master: fungo di emergenza non premuto. 109
Figura 4.11	Programma implementato nel PLC Master: fungo di emergenza premuto. 109
Figura 4.12	Programma implementato nel PLC Slave: fungo di emergenza non premuto. 110
Figura 4.13	Programma implementato nel PLC Slave: fungo di emergenza premuto. 110
Figura 4.14	PLC Master: fungo di emergenza non premuto. 111
Figura 4.15	PLC Master: fungo di emergenza premuto. 111
Figura 4.16	PLC Slave: fungo di emergenza non premuto. 112
Figura 4.17	PLC Slave: fungo di emergenza premuto. 112
Figura 4.18	Servo-drive <b>Lexium 32M</b> : fungo di emergenza non premuto. 113
Figura 4.19	Servo-drive <b>Lexium 32M</b> : fungo di emergenza premuto. 113
Figura B.1	Trave a doppio incastro. 133
Figura B.2	Trave a doppio appoggio equivalente. 133
Figura B.3	Diagramma dello sforzo di taglio di una trave a doppio incastro. 134
Figura B.4	Diagramma del momento flettente di una trave a doppio incastro. 134

## ELENCO DELLE TABELLE

---

Tabella 3.1	Valori di $\gamma_1$ testati e relative configurazioni.	36
Tabella 3.2	Tensioni equivalenti di Von-Mises e relativi coefficienti di sicurezza per le due sezioni critiche.	51
Tabella 3.3	Deformazioni massime dell'estremo libero.	53
Tabella 3.4	Parametri massimi del perno tra sarcofago e braccio.	55
Tabella 3.5	Parametri dei perni restanti.	56
Tabella 3.6	Altezze di saldatura minime per ciascun perno.	59
Tabella 3.7	Verifica a taglio dei perni di connessione tra braccio e attuatore.	61
Tabella 3.8	Elenco dei parametri per l'impiego di seeger DIN 471.	63
Tabella 3.9	Parametri dei perni per le braccia di supporto.	64
Tabella 3.10	Elenco dei parametri per l'impiego di seeger DIN 471.	65
Tabella 3.11	Altezze di saldatura minime per ciascun perno.	65
Tabella 3.12	Verifica statica del cuscinetto a sfere a due corone scelto.	67
Tabella 3.13	Dimensioni del cuscinetto a sfere a due corone scelto.	67
Tabella 3.14	Verifica statica del cuscinetto a sfere a singola corona scelto.	68
Tabella 3.15	Dimensioni del cuscinetto a sfere a singola corona scelto.	69
Tabella 3.16	Parametri dimensionali delle boccole.	69
Tabella 3.17	Tensioni di sollecitazione del montante in sollevamento con i golfari.	77
Tabella 3.18	Parametri dimensionali e sforzi scaricati sulle piastre di supporto.	78
Tabella 3.19	Parametri dimensionali e sforzi scaricati sulle piastre di supporto.	79
Tabella 3.20	Tensioni sull'estrusione della base.	81
Tabella 3.21	Deformazioni dell'estrusione della base.	81
Tabella 3.22	Altezza di saldatura minima per ancorare le piastre di supporto laterali.	82
Tabella 3.23	Altezza di saldatura minima per ancorare le piastre di attacco per i supporti delle ruote.	94
Tabella 3.24	Altezza di saldatura minima per ancorare le piastre di supporto laterali.	95
Tabella A.1	Coppie in gioco nel meccanismo di apertura.	121
Tabella A.2	Reazioni vincolari in salita.	122
Tabella A.3	Reazioni vincolari in discesa.	123

Tabella A.4	Sforzi agenti sulla sezione del braccio in corrispondenza dell'attacco del cilindro (salita). 124
Tabella A.5	Sforzi agenti sulla sezione del braccio in corrispondenza dell'attacco della molla (discesa). 125
Tabella A.6	Deformazioni dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per le $F_{ort}$ . 126
Tabella A.7	Deformazioni dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per i $M_{f,lat}$ . 127
Tabella A.8	Deformazioni lungo l'asse $z$ dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per i $M_t$ . 128
Tabella A.9	Deformazioni lungo l'asse $y$ dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per i $M_t$ . 129
Tabella A.10	Momenti scaricati dal perno sul sarcofago. 130
Tabella A.11	Altezze di saldatura richieste per la connessione tra perno del braccio e sarcofago. 131
Tabella C.1	Tabella riassuntiva dei componenti utilizzati. 135
Tabella D.1	Tabella riassuntiva delle tavole del sarcofago (1). 175
Tabella D.2	Tabella riassuntiva delle tavole del sarcofago (2). 176
Tabella D.3	Tabella riassuntiva delle tavole del carrello manuale. 176



## INTRODUZIONE

---

Il progetto SPES, messo in atto presso i Laboratori Nazionali di Legnaro dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, consiste nella realizzazione di una facility ISOL per la produzione dei radionuclidi, molecole radioattive che vengono impiegate in diversi campi di ricerca: dalla medicina moderna alla fisica nucleare, dall'astrofisica alla fisica dello stato solido. L'obiettivo finale consiste nella realizzazione di un unico grande centro di ricerca europeo che unisca le diverse facility sotto il nome di EURISOL.

Queste particelle vengono prodotte facendo collidere un fascio di protoni prodotto da un acceleratore primario su sette dischi target di diversi materiali, tra cui di maggior interesse il carburo di uranio, contenuti all'interno di una camera denominata *Target Ion Source (TIS) unit*. Per mantenere un elevato livello di efficienza e purezza, quest'ultima con il suo contenuto deve essere sostituita cicliamente e, dato il pericolo intrinseco dovuto alle radiazioni, la sua movimentazione è gestita completamente in maniera automatizzata. In questo lavoro di tesi ci si pone come obiettivo la progettazione del sistema di trasporto ausiliario che deve condurre una TIS unit esausta verso l'Hot Cell per il disassemblaggio e lo smaltimento dei componenti: data la possibile presenza di personale lungo il tragitto, sarà necessario adottare delle opportune schermature per ridurre al minimo l'esposizione dello stesso. Il sistema dovrà interfacciarsi con il *Supply Point (SP)*, da cui la necessità di avere due possibilità di inserimento/prelievo del materiale radioattivo: una frontale, per accogliere la TIS unit proveniente dal SP, ed una verticale, per consentire l'estrazione della TIS unit nell'Hot Cell.

Di seguito è fornita una breve presentazione degli argomenti trattati nei singoli capitoli:

- nel primo capitolo verrà presentato il progetto SPES per la costruzione della facility ISOL. Questo nome nasce dall'omonima tecnica che prevede la produzione di radionuclidi per mezzo della collisione di un fascio protonico con dei target di opportuno materiale contenuti in una camera. Questi vengono poi ionizzati e selezionati per essere inviati in opportune sale sperimentali;
- nel secondo capitolo verrà fornita una descrizione dei locali di interesse dell'edificio e dei sistemi automatici di movimentazione delle TIS unit. Si passerà poi alla presentazione del tragitto che il veicolo ausiliario dovrà compiere per arrivare dal SP fino all'Hot Cell, spiegando i vincoli e le ipotesi progettuali;
- nel terzo capitolo verrà mostrato l'iter progettuale del carrello schermato, a partire dall'illustrazione dei possibili meccanismi di apertura. Una volta definito, si passerà all'analisi cinematica

ed alla progettazione/scelta delle diverse componenti necessarie alla sua realizzazione. Si procederà, dunque, con la progettazione del resto del sarcofago e del carrello manuale su cui verrà posizionato. Per alcune delle componenti progettate, verrà svolta anche una verifica tramite analisi agli elementi finiti;

- nel quarto capitolo, infine, verrà descritta la sensoristica e verrà implementata una comunicazione tramite protocollo FSoE tra PLC di sicurezza, per emulare quella che sarà necessario avere tra il futuro AGV (che sostituirà il carrello manuale) ed il sistema di sicurezza centrale.

## I RADIOACTIVE ION BEAMS E IL PROGETTO SPES

### 1.1 INTRODUZIONE

La materia di tutto ciò che ci circonda è costituita da una struttura ordinata di atomi, particelle che mantengono le proprietà chimico/fisiche dell'elemento di riferimento. Ciascun atomo (fig. 1.1) risulta composto da protoni e neutroni ammassati nel nucleo, perciò chiamati anche nucleoni, e dagli elettroni rotanti attorno a quest'ultimo in regioni di spazio chiamate orbitali.

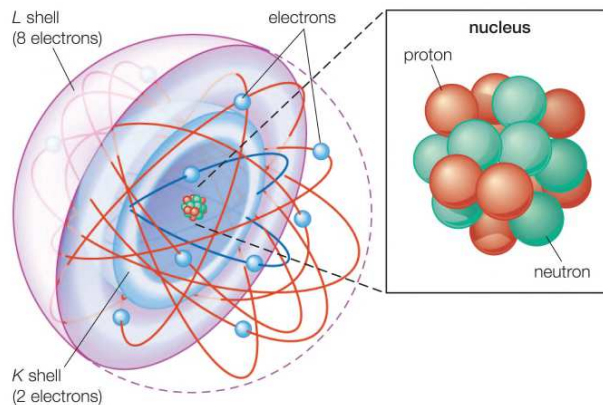


Figura 1.1: La struttura dell'atomo.

In particolare:

- i **neutroni** sono chiamati così poiché elettricamente neutri, essendo composti da 2 quark-down e 1 quark-up  $\left(-2 \cdot \frac{1}{3}e + \frac{2}{3}e = 0\right)$ . La massa è  $1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;
- i **protoni** sono chiamati così poiché dotati di carica positiva, essendo composti da 1 quark-down e 2 quark-up  $\left(-\frac{1}{3}e + 2 \cdot \frac{2}{3}e = 1e\right)$ , il cui valore in Coulomb è  $1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . La massa è leggermente inferiore a quella dei neutroni e pari a  $1.673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;
- gli **elettroni** sono particelle elementari caratterizzate da una carica negativa, in modulo pari a quello del protone, ma di segno opposto. La sua massa è trascurabile rispetto alle particelle elencate finora e pari a  $9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

Essendo che, in condizioni normali, il numero di elettroni e protoni si equivale, nel complesso l'atomo presenta una carica neutra. Inoltre, come è possibile osservare dai valori numerici, il 99.9% della massa è concentrato nel nucleo.

Gli atomi sono caratterizzati, tra le diverse proprietà, da:

- **numero atomico** ( $Z$ ), che indica il numero di protoni (ed, in caso, elettroni) contenuti nel nucleo. Atomi con lo stesso  $Z$  sono caratterizzati dalle medesime proprietà chimiche e rappresentano lo stesso elemento, indicato da un particolare simbolo;
- **numero di massa** ( $A$ ), dato dalla somma del numero atomico e di quello dei neutroni.

Due atomi di uno stesso elemento, caratterizzati quindi dallo stesso  $Z$ , con  $A$  diversi prendono il nome di *isotopi*. Viceversa elementi caratterizzati dallo stesso numero di massa ma diverso numero atomico prendono il nome di *isobari*.

Con il termine *nuclide* si indicano tutti gli isotopi conosciuti e si dividono in stabili (280 ca.) ed instabili (noti 3600 ca., stimati più di 6000), anche chiamati *radionuclidi*: nel nucleo sono presenti, come descritto in precedenza, solo particelle a carica positiva o neutra, portando alla nascita di un'azione repulsiva tra di esse. Ciò che tenta di compensare quest'effetto è la forza nucleare nota come interazione forte, preservando l'integrità della struttura. Nel caso dei radionuclidi, questa forza non riesce a compensare a sufficienza, causando la nascita di fenomeni di decadimento radioattivo.

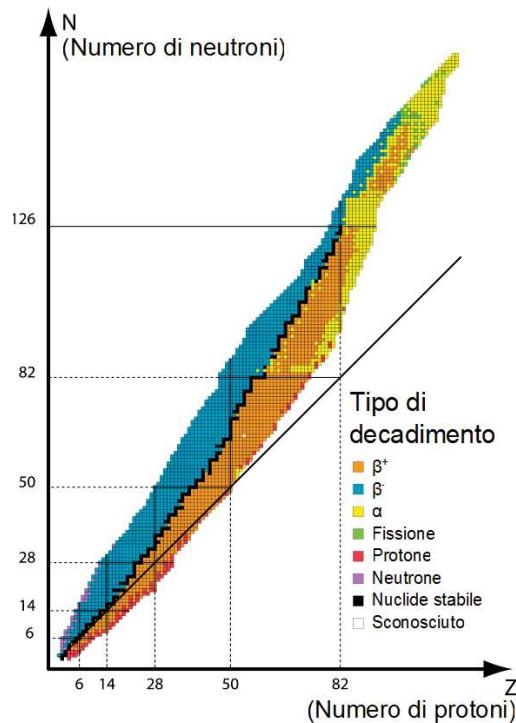


Figura 1.2: Carta dei nuclidi.

In fig. 1.2 è mostrata la carta dei nuclidi: l'asse  $x$  riporta il numero di protoni, mentre l'asse  $y$  quello dei neutroni. I quadratini neri indicano i nuclidi stabili, il cui assieme prende il nome di *valle di stabilità*, mentre quelli colorati indicano quelli instabili, raggruppati in base al tipo di decadimento a cui risultano sottoposti, ossia:

- decadimento  $\alpha$ , consiste nell'emissione di una particella  $\alpha$ , cioè un nucleo di elio. Avviene tipicamente negli atomi pesanti, con un numero di massa  $A > 210$ , e tipicamente, con un numero di protoni superiore a quello di neutroni;
- decadimento  $\beta$ , può essere di due tipologie:
  - $\beta^+$ , consiste nell'emissione di positrone e neutrino elettronico, a causa della trasformazione di un protone in neutrone. Avviene nei nuclei aventi un eccesso di neutroni rispetto ai loro isobari stabili;
  - $\beta^-$ , consiste nell'emissione di elettrone e antineutrino elettronico, a causa della trasformazione di un neutrone in protone. Avviene nei nuclei aventi un difetto di neutroni rispetto ai loro isobari stabili;
- decadimento  $\gamma$ , consiste nell'emissione di un fotone ad elevata frequenza (i.e. energia). Avviene in atomi che si trovano in uno stato eccitato;
- fissione spontanea, consiste nella suddivisione spontanea di un atomo molto pesante in due atomi diversi, più leggeri e stabili.

Tutti i processi di decadimento descritti consistono in fenomeni che tendono stabilizzare i radionuclidi, avvicinandoli alla valle di stabilità, da cui il suo nome.

Sempre in fig. 1.2 è indicata la retta bisettrice del quadrante, luogo dei punti in cui il rapporto tra numero di neutroni e protoni è pari a 1: è possibile osservare come i nuclidi stabili seguano il suo andamento fino a  $Z=20$ . Fino a questo punto, perché l'interazione forte riesca a bilanciare l'azione repulsiva dovuta alla forza elettrostatica, è sufficiente avere un numero di neutroni pari a quello di protoni. Viceversa, da qui fino a  $Z=82$ , affinché sia mantenuta questa stabilità, è necessario che il rapporto tra numero di neutroni e protoni sia  $>1$ . Infine, superato l'ultimo limite illustrato, per quanti neutroni sono presenti nel nucleo, nessun nuclide riuscirà ad essere stabile.

Lo studio dei radionuclidi e, in particolare, di isotopi esotici (appartenenti alla zona neutron-rich, sotto la valle di stabilità) è di fondamentale importanza per diversi campi di applicazione (sez. 1.4). Per riuscire a produrre fasci di ioni radioattivi (*Radioactive Ion Beams* o RIB) di elevata purezza, energia ed intensità, nel mondo si sono costruite diverse strutture che prendono il nome di *facilities* [7]. La tecnica alla base del ciclo di produzione prende il nome di ISOL (*Isotope Separation On Line*) (sez. 1.2). L'obiettivo finale in Europa è quello della nascita di un unico grande centro denominato EURISOL, che unisca diverse *facilities* specializzate per coprire il maggior numero possibile di campi di applicazione.

L'Italia fornisce il suo contributo grazie all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: ai Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL) è in fase di svi-

luppo una facility chiamata SPES (*Selective Production of Exotic Species*), molto simile a ISOLDE, nel CERN (Ginevra, Svizzera).

### 1.2 IL PRINCIPIO ALLA BASE DELLA TECNICA ISOL

La tecnica scelta per la produzione dei radionuclidi nel progetto SPES è quella ISOL: essa garantisce, tramite opportuni apparati ed accorgimenti, la possibilità di ottenere dei fasci di nuclidi esotici ad elevata intensità, selettività, efficacia ed efficienza. In particolare si necessita di:

- un acceleratore primario, per la produzione di un fascio di protoni;
- il target su cui far collidere il fascio appena generato, innescando una reazione di fissione nucleare, ed il sistema di estrazione ed ionizzazione dei nuclidi così prodotti;
- il sistema di separazione tramite campi elettromagnetici per la selezione delle specie di interesse;
- un ulteriore acceleratore per poter essere impiegati nei campi di applicazione di interesse o per svolgere ulteriori esperimenti.

In fig. 1.3 è riportato uno schema riassuntivo del funzionamento appena descritto.

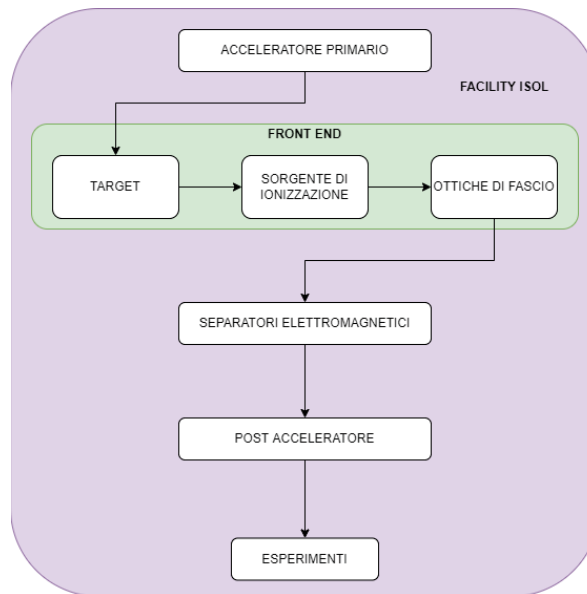


Figura 1.3: Funzionamento di una facility di tipo ISOL.

L'intensità del fascio di specie esotiche prodotto secondo il processo descritto è calcolabile come:

$$I = \sigma \cdot N \cdot \Phi \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_3 \quad (1.1)$$

dove:

- $\sigma$  indica la sezione d'urto e viene espressa come la probabilità che avvenga una reazione di fissione. Dipende dalle caratteristiche del target e del fascio;
- $N$  indica lo spessore del target utilizzato;
- $\Phi$  indica l'intensità del fascio protonico che impatta sul target;
- $\epsilon_1$  indica l'efficienza di rilascio del target;
- $\epsilon_2$  indica l'efficienza del processo di ionizzazione;
- $\epsilon_3$  indica l'efficienza del processo di estrazione e trasporto dei nuclidi.

Gli obiettivi alla base della progettazione di una facility di tipo ISOL sono:

- ridurre al minimo il tempo di estrazione, selezione e trasferimento dei radioisotopi, poiché, essendo instabili, decadono molto velocemente;
- trovare il giusto compromesso tra la massimizzazione del processo di produzione e la purezza del fascio estratto.

### 1.3 LA FACILITY SPES

In questa sezione ci si occuperà di fornire una panoramica dello stato di avanzamento della realizzazione della facility SPES presso i Laboratori Nazionali di Legnaro.

#### 1.3.1 *Le fasi del progetto*

La facility SPES consiste in un'infrastruttura di ricerca con obiettivo primario la produzione di fasci esotici di interesse per diversi ambiti. Il progetto si distingue in 4 fasi [19]:

- SPES  $\alpha$ , legata all'installazione e messa in opera dell'acceleratore primario del sistema di produzione, ossia il ciclotrone Best 70p (fig. 1.4). Esso consente di accelerare fasci protonici con un'energia compresa tra i 35 e i 70 MeV, generando correnti fino a 750  $\mu A$ . Pesa circa 190 tonnellate, ha un diametro  $D = 4.5 m$  ed un'altezza di 2 m ed è dotato di un magnete resistivo in grado di produrre un campo magnetico di intensità massima pari a 1.6 T. Inoltre, prevede due punti di estrazione per il fascio, così da consentire la simultaneità di attività in due punti sperimentali, uno di fisica nucleare e l'altro di fisica applicata;
- SPES  $\beta$ , legata all'installazione di un'infrastruttura per la ricerca in fisica nucleare. Per mezzo di un sistema di produzione di tipo ISOL, si lascia impattare un'intenso fascio protonico (200  $\mu A$ ) su diversi bersagli, in grado di resistere fino a 10 kW. Tra i bersagli



Figura 1.4: Ciclotrone Best 70p.

di maggior interesse ci sono quelli in carburo di uranio (sottosezione 1.3.2) che, grazie al raggiungimento di  $10^{13}$  fissioni/s, consente la produzione di diverse specie esotiche, caratterizzate da un eccesso di neutroni. Esse possono essere poi impiegate per sperimentazioni a bassa energia, se impiegate direttamente su particolari bersagli, oppure subire una riaccelerazione tramite l'acceleratore ALPI (Acceleratore Lineare per Ioni Pesanti) per poi interagire con particolari bersagli così da produrre nuovi nuclidi estremamente ricchi di neutroni, simili a quelli prodotti nelle fasi avanzate della vita delle stelle. Ciò consentirebbe di caratterizzare l'evoluzione dell'universo;

- SPES  $\gamma$ , legata alla produzione di radionuclidi a scopo di impiego in medicina nucleare. I radiofarmaci (fig. 1.5) sono ormai uno strumento molto potente per la medicina nucleare moderna, sia per l'esecuzione di diagnosi che di terapie. Essi risultano composti da una componente biologicamente attiva, che consente di interfacciarsi con specifici processi cellulari, e da una parte che funge da legante per garantire la stabilità del sistema all'interno di un organismo. Infine è presente il radionuclide che, tramite un fenomeno di decadimento opportunamente scelto, interagisce con i tessuti biologici per ricavare delle immagini o danneggiarli selettivamente. Normalmente per la diagnosi si sfruttano radionuclidi che, dopo l'emivita, decadono emettendo radiazione  $\gamma$  o  $\beta^+$ , mentre per la terapia quelli che emettono  $\alpha$  o  $\beta^-$ . L'obiettivo è quello di avere a disposizione diversi radionuclidi per poter costruire radiofarmaci sempre più efficaci e selettivi;
- SPES  $\delta$ , legata alla generazione e studio di fasci di neutroni. Questi sono particelle altamente pericolose poiché, essendo sprovviste di carica elettrica, interagiscono solo con i nuclei degli atomi: a causa di ciò, sono difficilmente gestibili e molto penetranti. Dato che sono caratterizzati da un'emivita di circa 15 min, non sono presenti nell'universo, se non in alcune regioni dello stesso. Per la loro produzione si lascerebbe impattare un fascio protonico su bersagli in berillio, litio e tungsteno. Questi studi hanno diverse applicazioni, che variano dall'elettronica, per via



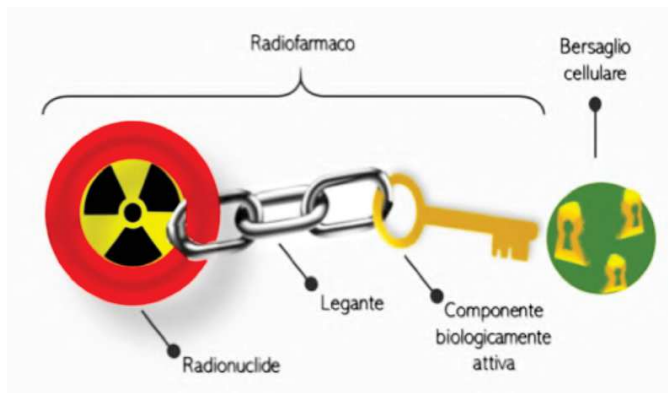


Figura 1.5: Struttura di un radiofarmaco.

dei danni (temporanei o permanenti) che i neutroni potrebbero causare alla circuiteria, la cui probabilità di avvenimento cresce di pari passo con la corsa alla miniaturizzazione, ai viaggi nello spazio, per via dei danni permanenti e letali che radiazioni neutroniche causano agli essere viventi. Inoltre, comprendere come poter controllare a dovere queste particelle porterebbe ad un miglioramento dell'efficienza di produzione e ad un calo di produzione di scorie all'interno delle centrali nucleari, essendo i neutroni alla base del fenomeno di fissione innescato.

### 1.3.2 Il target e la produzione, estrazione e ionizzazione dei fasci

Il cuore del ciclo di produzione dei radionuclidi per mezzo della tecnica ISOL è costituito dalla Target Ion Source (TIS) unit [2], riportata in fig. 1.6.



Figura 1.6: Target Ion Source (TIS) unit.

Essa contiene al suo interno il target UCx (fig. 1.7), composto da 7

dischi in carburo di uranio, disposti in posizione coassiale dentro un tubicino di grafite, ciascuno di diametro  $40\text{ mm}$  e spessore  $0.8\text{ mm}$ , sul quale va ad impattare il fascio protonico prodotto dal ciclotrone Best 70p, con un energia di  $40\text{ MeV}$  e un intensità di  $200\text{ }\mu\text{A}$ , portando alla produzione di isotopi con massa compresa tra le 60 e le 160  $uma$ . Per evitare la dispersione di radionuclidi, è presente all'ingresso del tubicino una finestra in grafite (*window*), mentre per fermare il fascio primario sono posizionati 3 dischi (*dumper*), sempre di grafite, sull'altra estremità.

Per lavorare in condizioni ottimali, il target è preriscaldato tramite il passaggio di una corrente di  $1300\text{ A}$  da dei morsetti, collegati al supporto in tantalio che avvolge la struttura in grafite (fig. 1.8), fino a  $1800\text{ }^\circ\text{C}$ , per poi raggiungere i  $2000\text{-}2300\text{ }^\circ\text{C}$  tramite l'interazione con il fascio protonico. Date le elevate temperature è stato necessario introdurre un circuito di raffreddamento ad acqua e, per evitare un degradamento eccessivamente veloce delle componenti strutturali, l'interno della TIS unit è tenuto in condizioni di alto vuoto ( $10^{-6}\text{ bar}$ ).

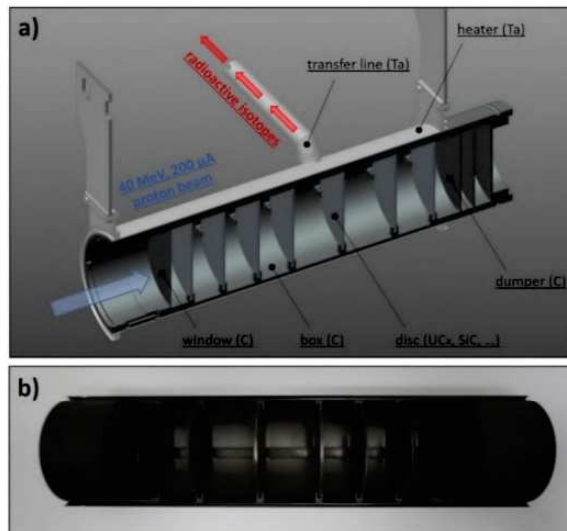


Figura 1.7: Target UCx [11]. a) CAD del target con indicazione delle componenti. b) Immagine del tubicino in grafite contenente i dischi aperto.

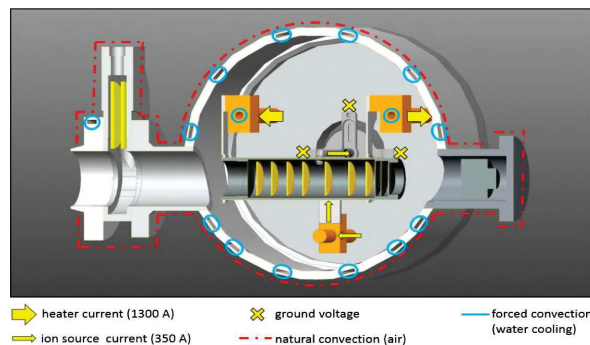


Figura 1.8: Percorso della corrente all'interno della TIS unit.

Grazie alla temperatura presente, i nuclidi liberati dalla reazione tra il fascio protonico e il target diffondono verso la linea di trasferimento in tantalio, per poi entrare nella sorgente di ionizzazione [16]. Quest'ultima può essere di 3 tipologie, ciascuna specializzata nell'estrarre un maniera efficiente particolari specie (fig. 1.9):

- *Surface Ion Source (SIS)*, rappresenta il metodo migliore, in termini di semplicità, efficienza e selettività, per ionizzare nuclidi a basso potenziale di ionizzazione, quali metalli alcalini e alcalinoterrisi. Si basa sul principio fisico secondo cui un atomo a contatto con una superficie calda tende a perdere un'elettrone nella banda di valenza;
- *Plasma Ion Source (PIS)*, rappresenta il metodo migliore per ionizzare nuclidi ad elevato potenziale di ionizzazione, tra cui i gas nobili. Esso si basa sulla capacità di elettroni, provenienti da un catodo indirettamente riscaldato e accelerati verso un anodo, di ionizzare qualunque atomo sospeso in questo purché l'energia dell'elettrone sia almeno pari a quella di ionizzazione dell'atomo su cui impatta;
- *Laser Ion Source (LIS)*, rappresenta il metodo con selettività maggiore, in quanto consente già in fase di ionizzazione di non estrarre le specie isobare indesiderate. Sfrutta la stessa struttura meccanica della SIS, da cui la facilità di passaggio da una all'altra. Sfruttando dei laser sintonizzabili, è possibile selezionare la frequenza dei fotoni necessari per ionizzare particolari specie.

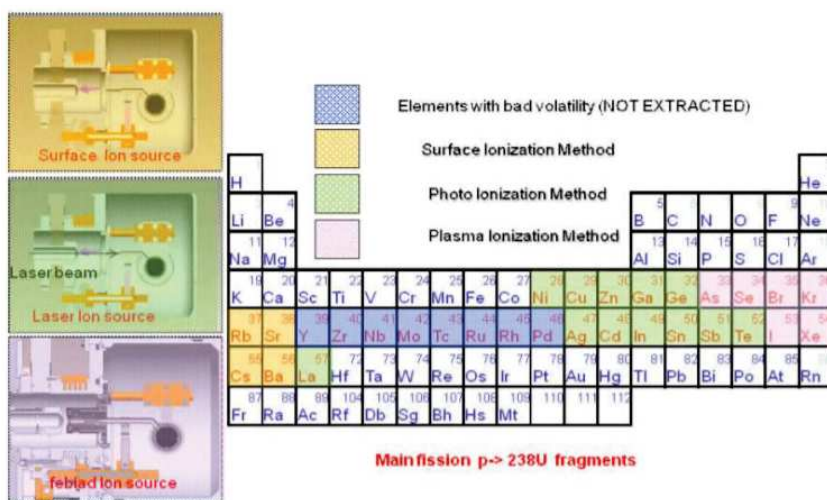


Figura 1.9: Nuclidi estratti al variare della sorgente di ionizzazione.

Una volta ionizzati, i radionuclidi estratti vengono accelerati tramite una differenza di potenziale di  $40\text{ kV}$  per entrare poi nel separatore di massa (sottosezione 1.3.3). Il processo descritto finora è riassunto e schematizzato in fig. 1.10.

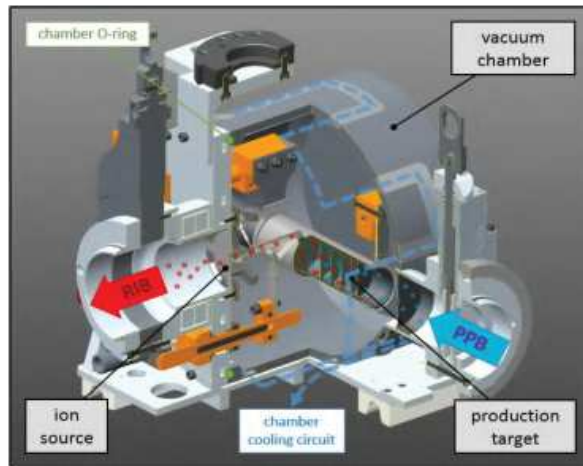


Figura 1.10: Produzione dei RIB nella TIS unit.

### 1.3.3 Il selettore di velocità e il separatore di massa

Il passaggio successivo alla ionizzazione dei radionuclidi estratti consiste nel processo di selezione delle specie di interesse: ciò avviene per mezzo di un separatore di velocità (*Wien filter*) [18], che seleziona solamente particelle caratterizzate da una ben precisa velocità, seguito da uno separatore di massa [20], in grado di selezionare solamente particelle dotate di una ben precisa massa.

Il separatore di velocità è normalmente costituito da un condensatore carico immerso in un campo magnetico ed il suo funzionamento si basa sul comportamento di una particella carica immersa in un campo elettromagnetico statico ed uniforme.

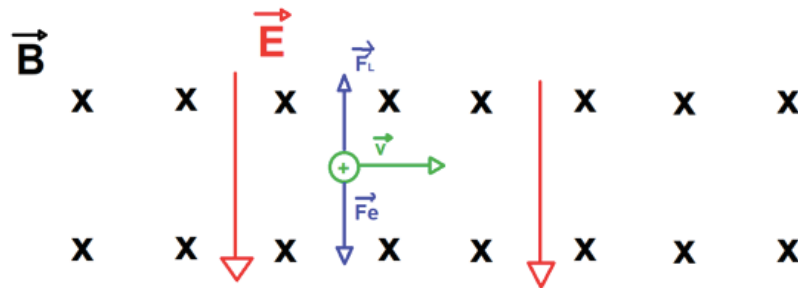


Figura 1.11: Forze agenti su una carica immersa in un campo elettromagnetico.

Come è possibile osservare in fig. 1.11, essa risulta sottoposta a due forze:

- $\vec{F}_E = q\vec{E}$ , forza elettrostatica. Direzione e verso della forza corrispondono a quelli del campo elettrico che la genera;
- $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$ , forza di Lorentz. Direzione e verso della forza sono determinabili con la regola della mano destra a partire dai vettori velocità e campo di induzione magnetica.

Data la disposizione dei campi e della velocità come in fig. 1.11, è possibile calcolare i moduli delle forze come:

$$\begin{cases} F_E = qE \\ F_L = qvB \end{cases} \quad (1.2)$$

Supponendo che i due contributi siano uguali ed esprimendo questa uguaglianza in funzione della velocità si ottiene:

$$v = \frac{E}{B} \quad (1.3)$$

Questa conclusione esplica esattamente il funzionamento del selettore di velocità: solamente le particelle viaggianti ad una velocità pari a quella calcolata riescono ad attraversare il campo elettromagnetico senza subirne gli effetti. Nel caso di velocità diverse, si avrà che una delle due forze prevarrà sull'altra, portando a deviazioni della traiettoria ed impedendo, di conseguenza, l'uscita delle particelle dalla stretta fenditura del filtro.

Superato il separatore di velocità, si entra nello separatore di massa: esso sfrutta la presenza di un campo magnetostatico uniforme per deviare particelle caratterizzate da masse differenti in punti precisi dello spazio, dove sono posizionati dei rivelatori. Come descritto in precedenza, quando una particella carica entra in un campo magnetico, subisce l'effetto della forza di Lorentz:

$$F_L = qvB \quad (1.4)$$

Essendo questa forza, per costruzione, ortogonale alla velocità in ogni istante, l'effetto della stessa è equivalente a quello di una forza centripeta:

$$F_c = m \frac{v^2}{r} \quad (1.5)$$

Uguagliando le due espressioni, è possibile ricavare il raggio di curvatura della particella:

$$r = \frac{mv}{qB} \quad (1.6)$$

La superficie di impatto risulta essere complanare al punto di origine, lasciando che le particelle percorrano una semicirconferenza al termine della quale sono posizionati diversi rivelatori (*detector plates*): essi sono collocati ad una distanza pari a 2 volte il raggio (diametro) di curvatura delle particelle dotate della massa di interesse, dato quanto ricavato nell'equazione 1.6.

In fig. 1.12 è illustrato il funzionamento complessivo del processo di selezione dei RIB.

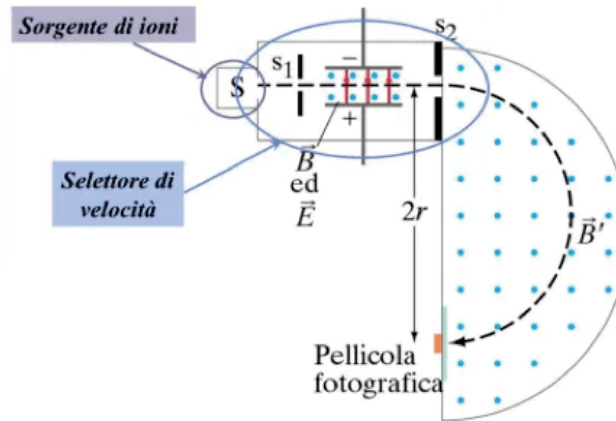


Figura 1.12: Combinazione di un selettore di velocità con uno separatore di massa.

Questo sistema garantisce una risoluzione di  $\frac{\Delta M}{M} = \frac{1}{200}$ , che non risulta però essere sufficiente per la maggior parte dei fasci ricchi di neutroni: supponendo di voler separare l'isotopo  $^{132}\text{Cs}$  dal  $^{132}\text{Sn}$ , si necessiterebbe di una risoluzione di  $\frac{1}{20000}$ , ottenibile solamente mediante un *High Resolution Mass Separator* (HRMS) [3].

Inoltre, è importante osservare che, nel caso in cui i radionuclidi venissero estratti senza essere precedentemente ionizzati, indipendentemente dalla loro velocità passerebbero indisturbati il selettore di velocità e non si potrebbero selezionare tramite il selettore di massa, da cui l'importanza delle sorgenti di ionizzazione.

Una volta selezionati, i radionuclidi possono essere indirizzati direttamente in laboratori appositi per svolgere esperimenti o subire un'ulteriore riaccelerazione con conseguente sperimentazione.

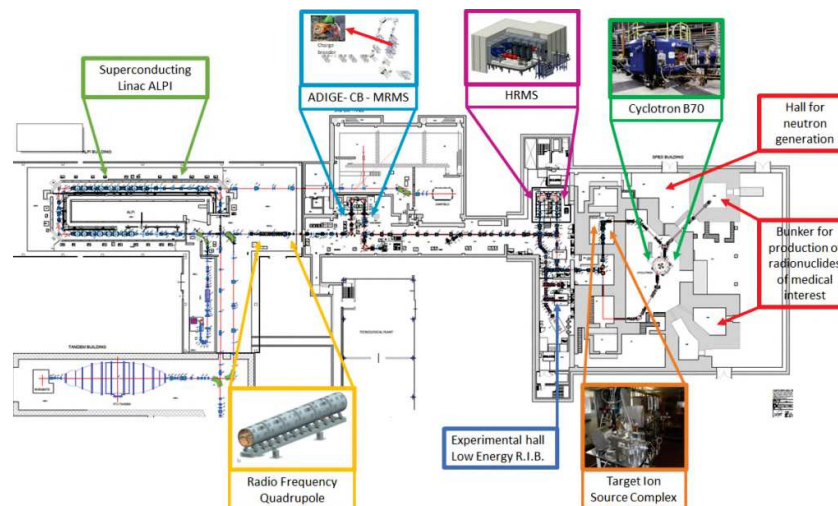


Figura 1.13: Schema riassuntivo del progetto SPES.

In fig. 1.13 è riassunto il percorso complessivo dei radionuclidi prodotti nella facility SPES.

#### 1.4 CAMPI DI APPLICAZIONE

In questa sezione verranno illustrati i diversi campi di applicazione delle specie esotiche estratte tramite la facility SPES.

##### 1.4.1 Fisica nucleare

Uno dei campi di applicazione per i radionuclidi prodotti e selezionati tramite la tecnica ISOL implementata a SPES è quello della fisica nucleare. In particolare, trovano i seguenti impieghi:

- **approfondimento e verifica del modello standard:** esso consiste in un modello di fondamentale importanza, poiché punta ad unificare ben 3 su 4 leggi fondamentali della fisica (interazione nucleare forte, debole ed elettromagnetismo). Per il momento, esso si basa su delle assunzioni non ancora del tutto verificate, ma lo studio dei decadimenti dei radionuclidi prodotti da facility ISOL potrebbe essere la chiave per validarle definitivamente;
- **produzione di Super-Heavy Elements (SHE):** essi consistono in elementi ad elevato numero atomico. Tramite reazioni di fusione nucleare nei laboratori, negli ultimi anni si è riusciti a sintetizzare elementi aventi numero atomico fino a 112 e si prospetta di riuscire a realizzare elementi fino al 116. Essi possono tornare utili nello studio delle proprietà dei nuclei;
- **studio di atomi ricchi di neutroni:** al momento, la legge che definisce la dimensione del raggio atomico ( $R = R_0 A^{1/3}$ ,  $R_0 = 1.2 \text{ fermi}$ ,  $A = \text{numero di massa}$ ), cade in difetto per atomi contenenti nel nucleo un numero elevato di neutroni (e.g. nuclei halo). Riuscire a produrre nuclidi nella zona della carta *neutron-rich*, potrebbe consentire di correggere e generalizzare la formula;
- **studio dei nuclei complessi:** al momento non si è ancora riusciti a quantificare le interazioni nucleari per nuclei pesanti o esotici. Avere la possibilità di produrli ed analizzarli in un laboratorio, consentirebbe la realizzazione di un modello che riesca a fornire questa caratterizzazione.

##### 1.4.2 Astrofisica

Riprendendo quanto accennato nella sottosezione 1.3.1, le specie esotiche, caratterizzate da un numero elevato di neutroni, prodotte dall'interazione del fascio protonico con i dischi in UCx, possono essere riaccelerate nell'acceleratore ALPI e lasciate impattare su altri bersagli per produrre radionuclidi estremamente ricchi di neutroni: essi sono nuclidi molto distanti dalla valle di stabilità, simili a quelli presenti nelle stelle in fasi avanzate della loro vita.

L'evoluzione delle stelle e il loro destino, infatti, dipendono dall'interazione della forza gravitazionale, che tende a farle collassare verso il loro nucleo, e dalle reazioni di fusione nucleare che avvengono in quest'ultimo, che continuano a liberare energia facendola tendere all'espansione. In particolare, l'idrogeno viene trasformato in elio, l'elio in carbonio, e così via fino ad arrivare al ferro. Elementi ancora più pesanti possono essere generati durante una supernova, assorbendo flussi di neutroni.

Poter analizzare nuclidi ricchi di neutroni in laboratorio, consentirebbe quindi di ricavare importanti informazioni per la comprensione dell'universo.

#### 1.4.3 *Medicina*

Come accennato nella sottosezione 1.3.1, l'utilizzo di radionuclidi in campo medico, per diagnosi e terapia, e la possibilità di ampliarne il numero e la varietà a disposizione rappresentano il futuro della medicina nucleare. La facility SPES, in particolare, metterà a punto due possibili processi di produzione che fanno da capo ai progetti LARAMED ed ISOLFARM.

##### 1.4.3.1 *Progetto LARAMED*

Il *Laboratorio di RADionuclidi per la MEDicina* (LARAMED) è il programma di ricerca focalizzato allo studio e produzione di radionuclidi sia per la diagnostica che per la terapia. Si basa sul cosiddetto metodo dell'attivazione "diretta": si irraggia, con il fascio di protoni prodotto dal ciclotrone, un bersaglio con opportune caratteristiche (materiale, spessore, supporto...) per il tempo necessario a massimizzare la produzione di un particolare radionuclide e minimizzare quella dei contaminanti. L'ottimizzazione del processo avviene basandosi sulla conoscenza delle reazioni nucleari coinvolte.

Terminato il bombardamento, il bersaglio subisce un trattamento chimico atto ad estrarre e purificare solamente la specie di interesse, per poi sottoporlo ad un ulteriore controllo qualità e procedere con la marcatura del radiofarmaco.

##### 1.4.3.2 *Progetto ISOLPHARM*

L'obiettivo principale nello sviluppo di nuovi radiofarmaci è quello di trovare le strategie migliori per assicurare la disponibilità di radionuclidi con grado di purezza elevato a sufficienza per garantire qualità ed efficienza dei composti: la facility SPES ha brevettato un metodo innovativo basato sulle tecnologie ISOL, ossia ISOLPHARM (*ISOL technique for radioPHARMaceuticals*).

I nuclidi estratti e selezionati secondo il processo descritto nella sezione 1.3 vengono collezionati, insieme ad eventuali elementi isobari, su appositi substrati, chiamati target di deposizione. Il target viene quindi disciolto per poi, tramite un separatore chimico, estrarre solamente il radionuclide di interesse.



Questo metodo presenta numerosi vantaggi, quali versatilità e flessibilità nella produzione.

#### 1.4.4 *Fisica dello stato solido*

Nel campo della fisica dello stato solido si utilizza una tecnica chiamata *Radio Tracer Diffusion* (RTD)[5]: essa consiste nel lasciar diffondere particolari radionuclidi a vita breve all'interno di un semiconduttore per poi rilevare le particelle ( $\alpha$ ,  $\beta$ ...) o la radiazione  $\gamma$  emesse durante il processo di decadimento.

Ciò consente lo svolgimento di molte attività: rilevamento, con possibile correzione, di eventuali difetti presenti nel reticolo cristallino, creazione di semiconduttori di dimensioni ulteriormente ridotte, studio del fenomeno diffusivo ed infine analisi dei campi elettrici e magnetici insiti nel cristallo.



## SISTEMI DI HANDLING A SERVIZIO DEL PROGETTO SPES

### 2.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo verrà affrontato il ciclo di vita della *Target Ion Source* (TIS) unit del progetto SPES, analizzando brevemente le postazioni all'interno dell'edificio SPES in cui avvengono le diverse fasi ed i sistemi di trasporto per la sua movimentazione e gestione. Gettate le basi, verrà descritto l'obiettivo della tesi: la progettazione del sistema di trasporto ausiliario a servizio dell'Hot Cell.

### 2.2 LAYOUT DELL'EDIFICIO

In questa sezione verrà illustrata la planimetria dei piani di interesse dell'edificio SPES.

In fig. 2.1 è mostrata la planimetria del piano -1. In particolare, le zone di interesse sono quelle alla destra del muro blu, le quali vengono ripartite in base alla funzione in fig. 2.2.

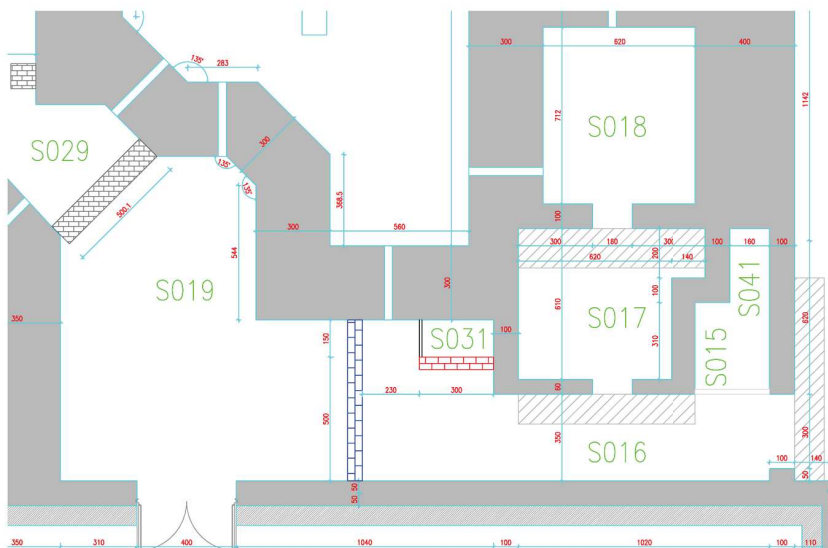


Figura 2.1: Planimetria del piano -1 dell'edificio SPES.

Analizzandole nel dettaglio:

- bunker (locale S018): zona in cui è stato installato il *Front End* (FE), dove avviene la produzione dei radionuclidi;
- pre-bunker (locale S017): zona di passaggio, anticamera del Bunker;

- *Temporary Storage System*, TSS (locale So41): deposito di stoccaggio temporaneo delle TIS unit attivate;
- area di stazionamento e manutenzione degli apparati (locale So16): ospita l'*Horizontal Handling Machine* (HHM), oltre ai dispositivi ancillari tra cui la *Manual Handling Machine* (MHM), in stazionamento o manutenzione;
- zona di carico/scarico (locale So16): interfaccia con i locali esterni all'area radioattiva, un operatore può caricare una nuova TIS sul *Supply Point* (SP) o, tramite un carrello schermato, ritirarne una esausta previo prelevamento dell'HMM dal TSS;
- zona di transito (locale So16): zona utilizzata dai veicoli per arrivare a FE, TSS o SP;
- area di accesso per l'HMM (locale So15): punto di sostamento dell'HMM durante la fase di deposito di una TIS attivata, prelevata in precedenza dal FE, nel TSS;
- area deposito (locale So31): zona atta al deposito momentaneo di materiale attivato.

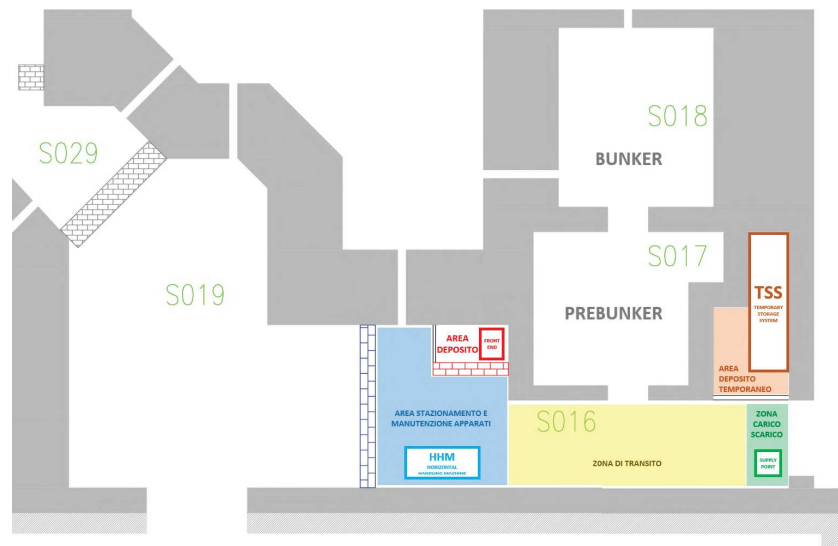


Figura 2.2: Aree funzionali del piano -1 dell'edificio SPES.

L'accesso al bunker è limitato a causa dell'elevata radioattività presente nella stanza e la schermatura degli ambienti esterni viene garantita da pareti di calcestruzzo armato di spessore minimo 3 m.

Viceversa, in fig. 2.3 è mostrata la planimetria del laboratorio di produzione del target in carburo di uranio (Laboratorio UCx), dove è installata anche l'Hot Cell, mentre in fig. 2.4 le aree funzionali associate. Entrando nei dettagli, esse sono:

- zona di trasporto: costituito da una passbox per l'ingresso del sistema di trasporto delle TIS esauste, una bussola per una prima decontaminazione ed infine il corridoio di passaggio, con

delle scale per il personale e un'elevatore a pantografo per il materiale;

- laboratorio di produzione target: dove avviene la produzione dei dischi in carburo di uranio o silicio, che nel complesso costituiscono il target;
- Hot Cell: zona di smaltimento delle TIS esauste. Risulta composta da due sottoaree, una dove opera l'operatore con gli opportuni dispositivi di protezione ed una dove verrà depositata la TIS unit esausta che andrà disassemblata e smaltita;
- spogliatoio: zona a disposizione degli operatori per indossare i DPI necessari per le lavorazioni.

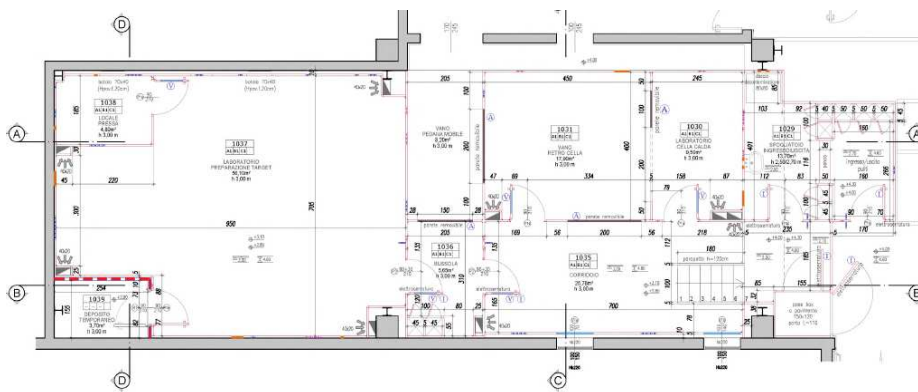


Figura 2.3: Planimetria del piano 1 dell'edificio SPES.

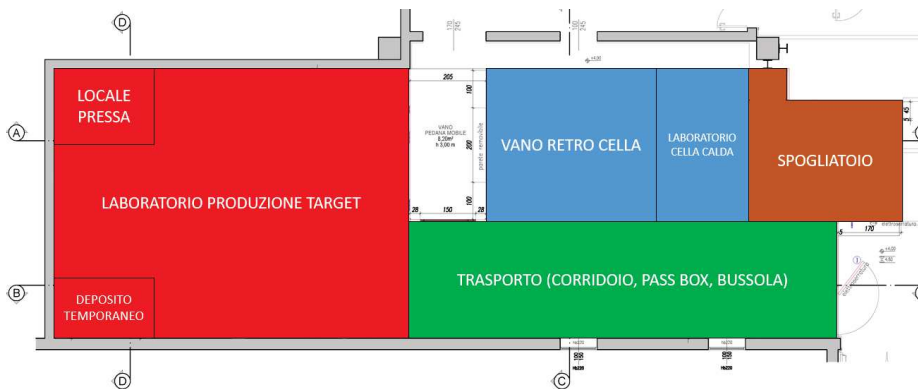


Figura 2.4: Aree funzionali del piano 1 dell'edificio SPES.

### 2.3 CICLO DI VITA DELLA TARGET ION SOURCE (TIS) UNIT

La *Target Ion Source Unit* (TIS Unit) costituisce l'elemento mobile della macchina ISOL presente nel bunker del piano -1 dell'edificio SPES. Durante l'irraggiamento, infatti, le proprietà dei materiali contenuti al suo interno si deteriorano, portando alla necessità di una sua

Physics (Beam)	Cooling + Venting	TIS Exchange	Setup
15 days	15 days		

Figura 2.5: Ciclo temporale per la produzione di fasci ad alta efficienza.

sostituzione al fine di mantenere elevata l'efficienza del processo di produzione dei radioisotopi.

Esse vengono prodotte e testate nel laboratorio al primo piano dell'edificio SPES, per poi essere caricate sul SP. Da qui, verrà prelevata dall'HHM e installata sul FE: tramite il processo di irraggiamento descritto in precedenza, avverrà la produzione di elementi esotici per un totale di 15 giorni. Nei 15 giorni successivi, avverranno le fasi di decadimento della TIS unit e ventilazione dei locali, rimozione della TIS unit e preparazione della successiva, per poi ricominciare il ciclo di produzione (fig. 2.5).

Le TIS unit attivate, ossia quelle rimosse dal FE dopo aver subito l'irraggiamento, vengono successivamente trasportate sempre dall'HHM fino al TSS, dove verranno stoccate per un periodo temporale variabile tra i 2 e i 5 anni, ossia finché i livelli di radiazione emessi non scendono sotto una ben definita soglia. Terminata la fase di stoccaggio temporaneo, essa verrà caricata dal veicolo sul SP, da dove, per mezzo di un sistema di trasporto costituito da un carrello schermato, verrà portata fino all'Hot Cell, al primo piano dell'edificio, dove avverrà la fase di disassemblaggio e smaltimento.

In fig. 2.6 è riportato uno schema riassuntivo del ciclo di vita complessivo della TIS unit.

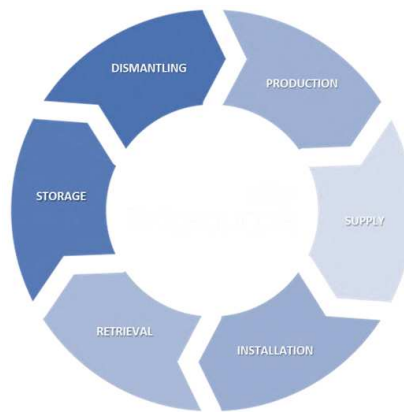


Figura 2.6: Ciclo di vita di una TIS unit.

#### 2.4 MOVIMENTAZIONE DELLA TIS UNIT AL PIANO INFERIORE

I sistemi di movimentazione automatizzati presenti al piano -1 dell'edificio SPES sono circa cinque e sono impiegati con l'obiettivo di ridurre allo stretto necessario l'esposizione alle radiazioni di operatori. Di seguito ne è riportato l'elenco:

- *Front End Coupling Table (FE)*: tavola di accoppiamento al Front

End;

- *Horizontal Handling Machine* (HHM): veicolo per il trasporto di una TIS unit da una postazione all'altra;
- *Temporary Storage System* (TSS): robot cartesiano per la gestione delle movimentazioni interne al Temporary Storage;
- *Manual Handling Machine* (MHM), la quale svolgerebbe le medesime funzioni del HHM e viene impiegata in caso di guasto del primo, richiedendo però la presenza di un operatore;
- *Supply Point* (SP): consente l'operazione di carico/scarico di TIS unit nuove/esauste.

In particolare, in questa sezione, si approfondiranno la struttura ed i percorsi dell'HHM e la struttura ed i vantaggi del SP, poiché legate al sistema di trasporto a servizio dell'Hot Cell.

#### 2.4.1 *Horizontal Handling Machine* (HHM)

L'*Horizontal Handling Machine* (fig. 2.7) risulta composto da due sistemi integrati tra loro: un veicolo a guida autonoma (AGV) ed un manipolatore cartesiano.



Figura 2.7: CAD dell'*Horizontal Handling Machine*.

L'AGV, a differenza di altri veicoli automatici impiegati a livello industriale, non calcola dinamicamente il percorso da seguire bensì, tramite un sistema a guida ottica, percorre sempre una traiettoria colorata a pavimento, fermandosi quando arriva in predeterminate posizioni segnalate da dei magneti. La parte di controllo e programmazione, per scegliere quale tra i percorsi preimpostati seguire, viene gestita tramite dei PLC, mentre l'alimentazione è fornita da un sistema di batterie ricaricabili.

Il manipolatore, invece, è costituito da un sistema di movimentazione cartesiano lungo la direzione verticale e longitudinale del veicolo: esso serve a prelevare/depositare la TIS sui diversi sistemi presenti all'interno del piano interrato. Durante il trasporto, la TIS unit verrà collocata all'interno di un sarcofago schermato collocato su un piano elevatore, le cui pareti sono caratterizzate da due lamiere di acciaio esterne da  $5\text{ mm}$  l'una e da cinque lastre di piombo interne delle medesime dimensioni: la presenza delle seconde è necessaria per avere un effetto schermante dalle radiazioni emesse dal TIS unit (se attivata), mentre le prime servono a dare solidità al sistema, essendo il piombo un materiale privo di proprietà strutturali.

L'organo di presa è costituito da tre componenti: l'utensile di presa, che si interfaccia direttamente con la TIS unit per mezzo di un sistema di centratura e di espulsione di sfere tramite aria compressa per l'aggancio, il modulo di compensazione, per compensare eventuali disallineamenti con il posizionamento lungo i 3 assi principali con una tolleranza di  $\pm 5\text{ mm}$ , ed il modulo di backup, da impiegare come sostituto nel caso di un guasto al primario. La logica di funzionamento è di tipo *fail-safe*, ossia è necessario fornire un comando per cambiare lo stato (chiuso/aperto) del sistema: in questo modo, anche dovesse mancare l'alimentazione nel momento in cui la TIS unit è sospesa, non ci sarebbe alcuna caduta accidentale.

Descritta la struttura, è possibile procedere con l'analisi dei percorsi compiuti dal veicolo.

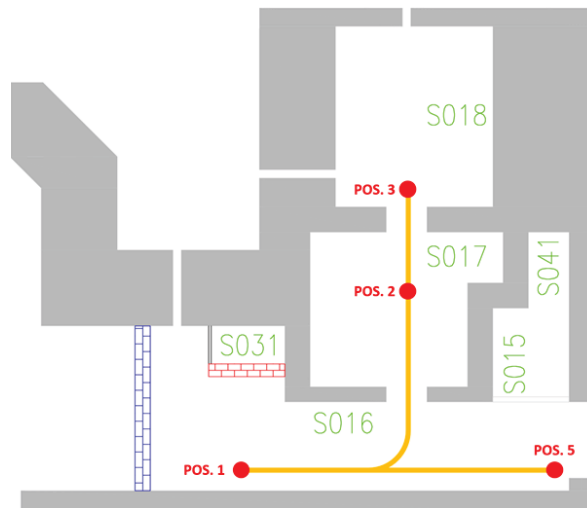


Figura 2.8: Percorso di carico di una nuova TIS unit sul FE.

In fig. 2.8 è illustrato il percorso per l'installazione di una nuova TIS unit sul FE:

- il veicolo parte dall'area di parcheggio (pos. 1) per arrivare sino al SP (pos. 5) in cui è stata caricata una nuova TIS unit;
- dopo averla prelevata è possibile spostarsi fino alla tavola di accoppiamento del FE (pos. 3), dove la TIS unit verrà depositata ed agganciata al sistema ISOL;



- il veicolo ora può ritornare nell'area di sosta (pos. 1) in attesa di nuove istruzioni.

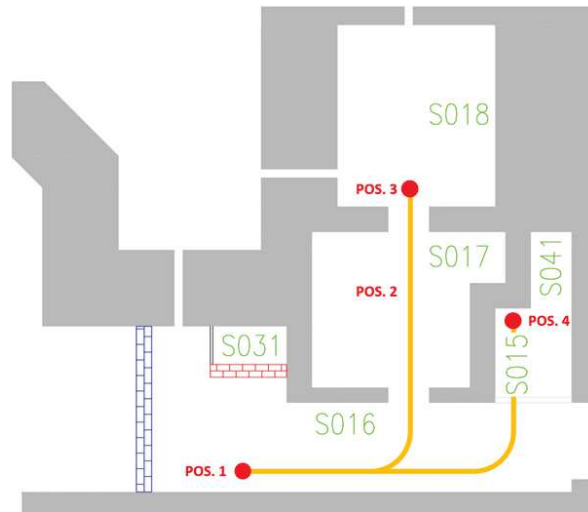


Figura 2.9: Percorso di deposito di una TIS unit attivata nel TSS.

In fig. 2.9 è illustrato il percorso per il deposito di una TIS unit attivata nel TSS:

- il veicolo parte dall'area di parcheggio (pos. 1) per arrivare sino alla tavola di accoppiamento del FE (pos. 3) per recuperare la TIS unit attivata;
- una volta prelevata e inserita nel sarcofago, il sistema si sposterà sulla zona di interfacciamento con il TSS (pos. 4), dove la TIS unit verrà stoccata temporaneamente;
- il veicolo ora può ritornare nell'area di sosta (pos. 1) in attesa di nuove istruzioni.

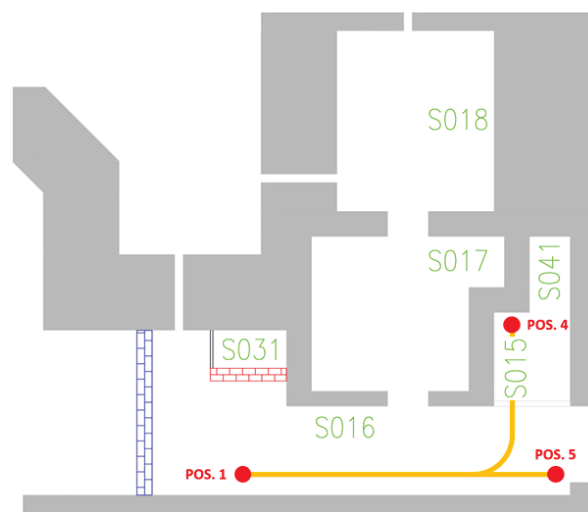


Figura 2.10: Percorso di scarico di una TIS unit esausta sul SP.

In fig. 2.9 è illustrato il percorso per lo scarico di una TIS unit esausta sul SP:

- il veicolo parte dall'area di parcheggio (pos. 1) per arrivare sino alla zona di interfacciamento con il TSS (pos. 4), dove verrà prelevata una TIS unit esausta;
- una volta recuperata, il sistema si porterà in prossimità del SP (pos. 5), per scaricare la TIS unit;
- il veicolo ora può ritornare nell'area di sosta (pos. 1) in attesa di nuove istruzioni.

#### 2.4.2 Passbox e Supply Point (SP)

In principio, l'operazione di carico di una nuova TIS unit si era pensato potesse essere svolta da un operatore presso il locale So15. Ciò però avrebbe comportato ad un rallentamento complessivo del processo per via dell'attività di *ronda*: per poter avviare la produzione di RIB, è necessario che non ci sia personale all'interno delle aree descritte finora, al fine di evitare esposizioni alla radiazioni rilasciate durante il processo. Questo controllo è effettuato ogni volta che viene aperta una porta dei locali da un addetto, a cominciare dai locali più interni e via via verso quelli esterni tramite dei ben precisi percorsi. Quando una stanza è stata rondata, si accende all'ingresso della stessa una spia di segnalazione.

Ogni qual volta che, quindi, un operatore avesse effettuato l'operazione di carico di una nuova TIS unit, sarebbe stato necessario ripetere l'operazione di *ronda*, inutilmente. Per ovviare a ciò, in corrispondenza della porta di uscita dalla zona radiotattiva, ossia la parte finale del locale So16, è stata aggiunta una passbox per differenziare l'accesso del personale da quello del materiale (fig. 2.11).

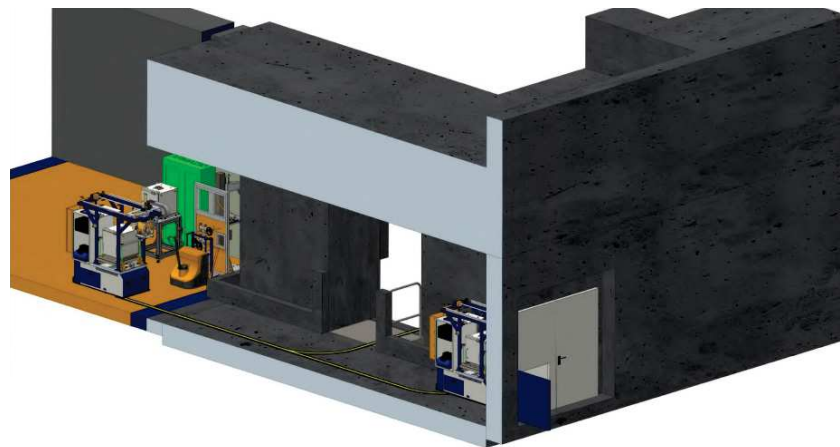


Figura 2.11: CAD del locale So16 e della porta di ingresso con la passbox.

Questa divisione dei flussi ha richiesto la realizzazione di un sistema di supporto per consentire le operazioni di carico/scarico di TIS

unit, denominato *Supply Point* (SP) [8], mostrato in fig. 2.12. Esso è un sistema basato sul principio di funzionamento dei trasloelevatori: usando una leva del terzo ordine, si ottiene una corsa doppia rispetto a quella del cilindro pneumatico utilizzato per la spinta, a scapito di sollevare un carico pari al doppio di quello effettivamente presente. Questa caratteristica ha consentito la realizzazione di un sistema compatto, nonostante la distanza percorsa dal pianale di appoggio per le TIS unit.

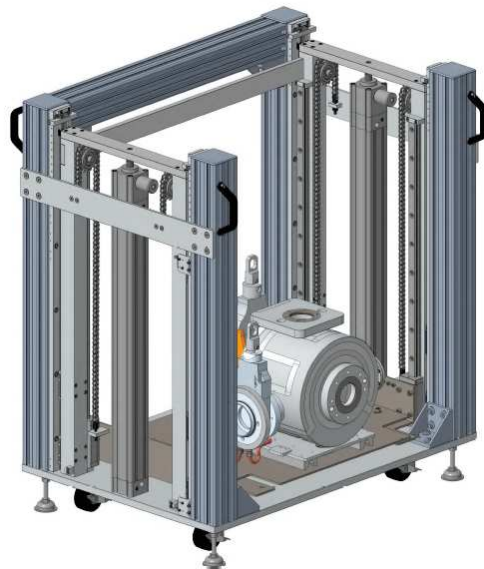


Figura 2.12: CAD del Supply Point.

A causa della distanza minima a cui le bandelle di sicurezza dell'AGV possono trovarsi rispetto agli "ostacoli", la TIS unit verrà collocata in posizione decentrata sul pianale.

Il sistema è stato predisposto per una modifica futura al fine di implementare un sistema di traslazione orizzontale automatizzato per rendere più agevoli le fasi di carico/scarico.

## 2.5 OBIETTIVO DELLA TESI

La corrente tesi si pone come obiettivo la progettazione di un sistema di trasporto ausiliario che si interfacci in fase di scarico al SP: una volta prelevata la TIS esausta, il carrello schermato dovrà arrivare fino al primo piano dell'edificio SPES, dove è presente l'Hot Cell, in cui avverrà lo smaltimento del materiale radioattivo.

### 2.5.1 Percorso e vincoli imposti

Di seguito verrà illustrato il percorso che l'operatore dovrà percorrere con il carrello schermato e verranno illustrati i vincoli nascenti da questo.

La prima tappa viene effettuata a ridosso della passbox presente nel piano interrato dell'edificio SPES: tramite l'HHM o il MHM, una TIS unit esausta viene prelevata dal TSS per poi essere collocata sul Supply Point, dove verrà caricata nel carrello schematico tramite un sistema di traslazione orizzontale sottostante al pianale di appoggio (fig. 2.13).

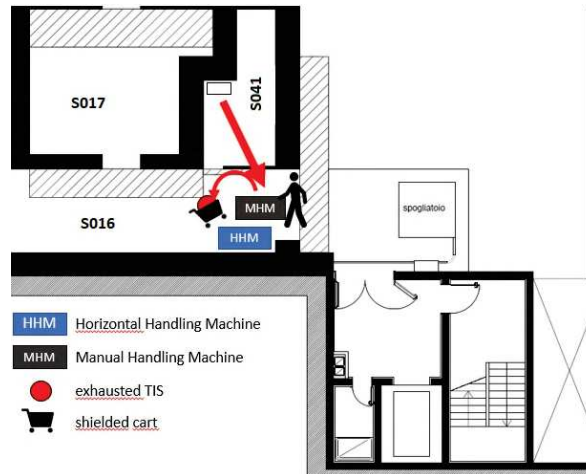


Figura 2.13: Fase 1: carico della TIS sul carrello con il sarcofago.

Una volta terminato l'inserimento ed aver garantito la tenuta stagna del sistema complessivo per evitare contaminazioni lungo il tragitto, il carrello potrà essere portato dall'operatore fino ad un elevatore (fig. 2.14): tramite quest'ultimo, il sistema verrà portato fino al primo piano dell'edificio SPES, dove è presente l'Hot Cell.

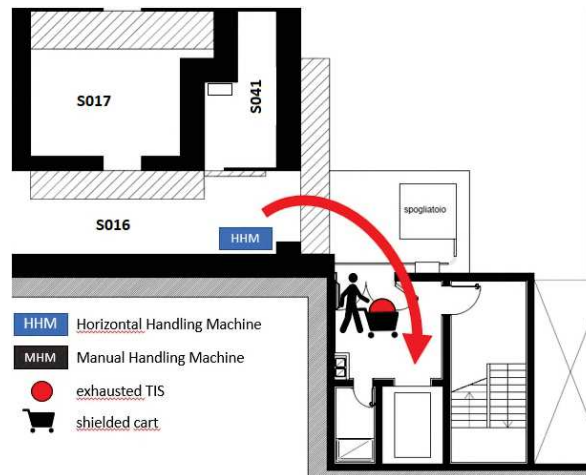


Figura 2.14: Fase 2: spostamento del carrello all'interno dell'elevatore.

Arrivati al piano corretto, l'operatore preleverà il carrello dall'elevatore e lo porterà fino alla passbox di ingresso all'Hot Cell, dove avverrà una prima decontaminazione all'interno della bussola (fig. 2.15). Dopo di questa, il carrello verrà portato fino ad un sollevatore a pantografo a fianco alle scale del Target Production Lab, per poi essere depositato per procedere con lo smaltimento della TIS unit esausta

contenuta al suo interno nella stanza 1031.

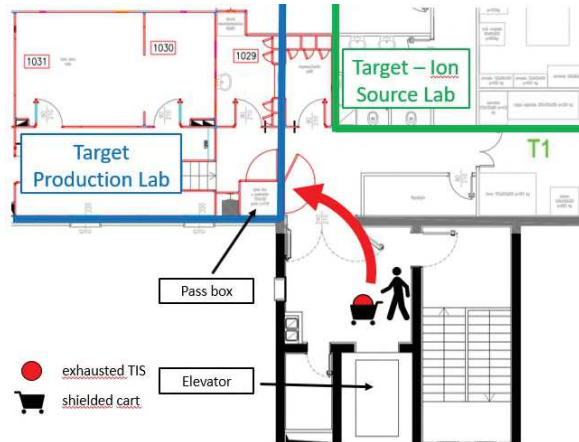


Figura 2.15: Fase 3: spostamento del carrello dentro alla passbox dell'Hot Cell.

Questo tragitto può essere svolto anche al contrario, senza necessità di usare il carrello schermato, per portare una nuova TIS fino al Supply Point e, quindi, essere connessa al FE.

Il tragitto descritto introduce alcune limitazioni di cui si dovrà tenere conto in fase di progetto:

- dati gli spazi angusti, il carrello deve essere di facile movimentazione;
- a causa del passaggio attraverso la passbox all'ingresso dell'Hot Cell, il carrello schermato non può superare  $800 \times 800 \times 1100 \text{ mm}$  ( $w \times l \times h$ );
- appena fuori dalla passbox, il pavimento flottante dei Laboratori ISOL ha una capacità di carico di soli  $400 \text{ kg/m}^2$ .

### 2.5.2 Ipotesi progettuali

Oltre ai vincoli appena descritti, legati al tragitto da effettuare, è necessario illustrare le ipotesi progettuali alla base:

- il carrello schermato sarà costituito da due unità indipendenti, ossia un carrello, per la movimentazione, e un contenitore schermante, per accogliere il materiale radioattivo da trasportare;
- la schermatura è vincolante per via della possibilità di trasporto di una TIS unit attivata, senza che abbia trascorso i 2-5 anni nel TSS, per effettuare ulteriori analisi nei laboratori al piano 1.

A causa dell'ultimo punto, la quantità di piombo sarà molto prossima a quella del sarcofago attualmente in uso sull'HHM, il quale presenta un peso di  $750 \text{ kg}$ . Ciò è in netto contrasto con la capacità di

carico della pavimentazione flottante dei Laboratori ISOL, da cui le alternative sono:

- rinforzare il pavimento flottante, aggiungendo un ulteriore appoggio al centro dei blocchi, oppure, se non dovesse essere sufficiente, fare una gettata di cemento nella zona;
- ridurre il numero di lastre di piombo per alleggerire il carico a scapito della schermatura, cercando una soluzione alternativa/- da integrare per le TIS unit attivate.

Al momento non è ancora stata presa una strada precisa, per cui in questa progettazione si considererà la condizione che mette in maggior sicurezza l'operatore, mantenendo quindi la schermatura necessaria a scapito del carico.

## PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI TRASPORTO AUSILIARIO

---

### 3.1 INTRODUZIONE AL PROBLEMA

In questo capitolo verrà illustrata passo passo la progettazione ed il dimensionamento del sistema di trasporto ausiliario al servizio dell'Hot Cell del progetto SPES. In particolare, gli obiettivi da raggiungere sono due:

- la progettazione di un nuovo contenitore schermato per consentire l'inserimento per traslazione orizzontale della TIS dal Supply Point, mantenendo anche la presenza del coperchio superiore come nel sarcofago attualmente in uso, per interfacciarsi all'Hot Cell;
- il dimensionamento di un carrello manuale su cui collocare il suddetto contenitore e la valutazione dei possibili AGV presenti nel mercato utilizzabili per l'applicazione.

Il primo punto, in particolare, nasce dalla scelta di evitare di inserire la TIS dall'alto nel sarcofago e di progettazione intrinsecamente sicura del Supply Point stesso nell'evitare di sollevare l'interno sarcofago (700 kg), riducendo i rischi legati alla presenza di carichi pesanti sospesi.

In questa versione del concept design, la parte dedicata alla movimentazione orizzontale della TIS non verrà sviluppata. In compenso il sistema verrà comunque progettato al fine di facilitarne un'integrazione futura.

Nelle pagine seguenti si analizzeranno le possibili alternative per rendere una parete del sarcofago apribile. Una volta definito il metodo sulla base dei vincoli imposti, si passerà all'analisi cinematica dello stesso ed al dimensionamento/scelta delle varie componenti (attuatori, braccia, cuscinetti...) necessarie alla sua realizzazione. Si passerà poi alla progettazione strutturale del sarcofago ed al dimensionamento del carrello manuale per il trasporto. Infine, verranno effettuate opportune verifiche delle parti progettate per mezzo di Ansys<sup>®</sup>, software di analisi agli elementi finiti.

### 3.2 POSSIBILI SOLUZIONI E SCELTA EFFETTUATA

In questa sezione verranno presentati brevemente le possibili modalità di apertura della parete frontale del sarcofago per consentire l'interfacciamento con il Supply Point..

### 3.2.1 Sistema di apertura a ghigliottina o a scorrimento laterale

Una prima possibilità consiste nell'apertura per scorrimento, verticale o laterale, della parete attraverso opportuni supporti (fig. 3.1). La soluzione risulta di semplice progettazione e, se necessario, automatizzazione per mezzo di un azionamento elettrico o pneumatico, a scapito, però, di un ingombro pari a due volte la dimensione della parete, legato alla necessità di avere le guide laterali fisse. Per ridurlo, si potrebbe valutare la possibilità di rendere le guide telescopiche, andando però a complicare la gestione di tutto il resto.



Figura 3.1: Esempio di apertura a ghigliottina.

### 3.2.2 Sistema di apertura a battente o a ponte levatoio



Figura 3.2: Esempio di apertura battente.

Un'altra possibilità consiste nell'apertura battente (fig. 3.2), per mezzo di una rotazione attorno ad un asse fisso, normalmente definito dalla posizione delle cerniere. La soluzione si presenta, infatti, di semplice progettazione, con possibilità di automatizzazione per mezzo di



un azionamento elettrico o pneumatico e con ingombri minimi quando chiusa. Il problema principale della soluzione è legato allo spazio occupato durante la fase di apertura/chiusura, necessitando di una superficie pari ad una porzione di cerchio, legata all'angolo di apertura, di raggio pari alle dimensioni della porta stessa.

Per ridurre lo spazio di manovra si può valutare di spezzare la parete in due ante distinte, portando però ad un raddoppio di tutte le componenti necessarie alla sua realizzazione.

### 3.2.3 Apertura a pantografo

Infine, l'ultima possibilità presa in considerazione è quella di un'apertura a pantografo (fig. 3.3), a sua volta caratterizzata da un movimento circolare attorno ad un asse fisso. La soluzione risulta essere più compatta, a parità di dimensioni della parete da movimentare, rispetto alla soluzione a battente e di semplice attuazione, per mezzo di un azionamento elettrico o pneumatico, ma la questione si complica leggermente a livello progettuale a causa di alcune accortezze.

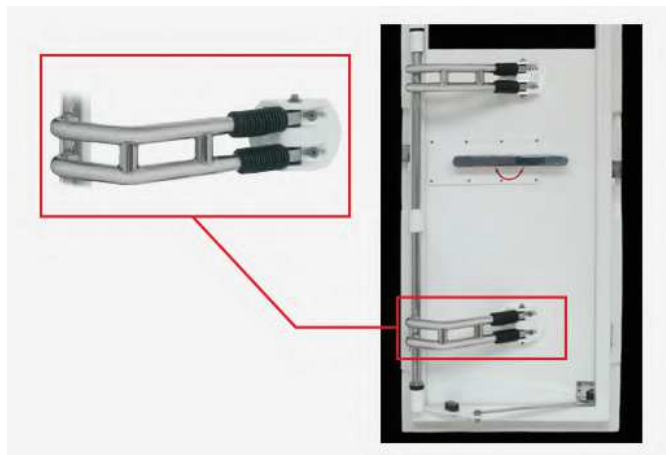


Figura 3.3: Esempio di apertura a pantografo.

### 3.2.4 Considerazioni

Per scegliere quale delle alternative presentate sia la migliore è necessario comprendere i vincoli progettuali, ossia:

- le dimensioni complessive sono limitate dalla passbox attraverso la quale il sistema entra nella zona di decontaminazione per poi proseguire all'interno dell'Hot Cell. In particolare, esse devono essere al massimo pari a 80 x 80 x 110 cm ( $w \times l \times h$ );
- lo spessore delle pareti deve essere tale da contenere almeno 20mm di piombo. Questo è dovuto alla possibilità di accogliere una TIS esausta senza che abbia trascorso i 3-5 anni di tempo nel TSS, necessari perché decada raggiungendo livelli di radioattivi-

tà sufficientemente bassi, e poter essere analizzata direttamente nell'Hot Cell;

- è necessario che il sistema sia immobile durante tutta la fase di apertura della parete, inserimento della TIS per mezzo della movimentazione orizzontale e chiusura della parete, per ridurre al minimo la possibilità di contaminazione dell'ambiente esterno;
- tra la parete e il resto del sarcofago verrà posizionata una guarnizione di materiale opportuno per garantire la tenuta stagna del contenuto radioattivo durante il trasporto.

Tra le alternative proposte nei punti precedenti, emerge l'impossibilità di un'apertura a scorrimento laterale o a ghigliottina, in quanto l'ingombro causato dalle guide sarebbe inaccettabile, seppur risolvibile usandole telescopiche, e la continua traslazione rettilinea del sistema usurerebbe precocemente la guarnizione. In merito a quest'ultimo, si era valutato il meccanismo delle ante complanari, così da strisciare il meno possibile sulla guarnizione, ma la sua implementazione è risultata eccessivamente complicata.

A causa del terzo punto, è opportuno osservare che maggiore è lo spazio di manovra, maggiore sarà la distanza tra il sarcofago e il Supply Point, rendendo più complicata la progettazione futura della movimentazione orizzontale: a causa di ciò anche la seconda alternativa, ossia di apertura a battente o ponte levatoio è stata scartata.

Di conseguenza, l'approccio scelto per gestire l'apertura della parete laterale è quello a pantografo: lo spazio di manovra è contenuto, per via del modo in cui avviene la movimentazione non si avrà un'usura prematura della guarnizione e le braccia, collocate esternamente per facilitarne l'attuazione e la manutenzione, sono caratterizzate da un ingombro contenuto. In sostanza, questa soluzione rappresenta il giusto compromesso tra tutto.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI APERTURA A PANTOGRAFO

In questa sezione si affronterà lo studio delle parti, degli attuatori e degli accessori necessari alla realizzazione del sistema di apertura a pantografo della parete frontale del sarcofago.

#### 3.3.1 *Analisi cinematica*

In primo luogo si è definita la geometria del meccanismo articolato associato alle braccia. In particolare si sono fissati i seguenti parametri:

- $l_1$ , lunghezza della parte di braccio vincolata al sarcofago;
- $l_2$ , lunghezza della parte di braccio vincolata alla parete;
- $\gamma_1$ , angolo tra il riferimento orizzontale e la porzione di braccio di lunghezza  $l_1$ ;

- $\gamma_2$ , angolo tra la porzione di braccio di lunghezza  $l_1$  e quella di lunghezza  $l_2$ , da uso comune imposto pari a  $\gamma_2 = \gamma_1 - \frac{\pi}{2}$ .

Per far sì che la parete da aperta non limiti lo spazio per l'inserimento orizzontale, è necessario che il punto di attacco sulla parete mobile sia collocato ad una distanza da terra al più pari alla lunghezza  $l_2$ , scelto uguale per evitare spostamenti inutili. Infine la distanza orizzontale tra i due punti di attacco viene imposta pari alla lunghezza  $l_1$ , in maniera tale che quando il meccanismo è completamente aperto, la componente della medesima lunghezza sia perfettamente orizzontale.

La struttura che si ottiene è quella mostrata in fig. 3.4, dove le braccia ricordano la lettera "L".

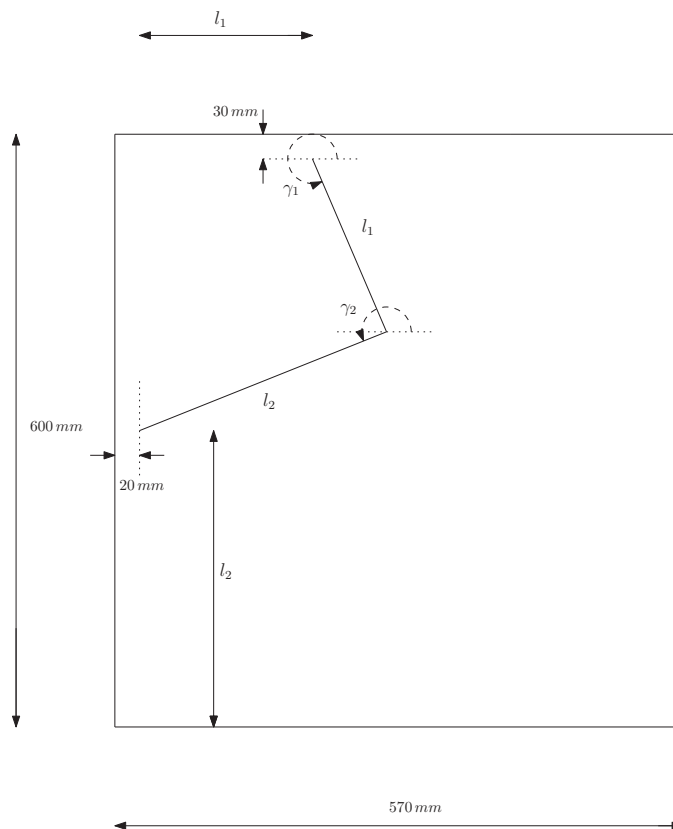


Figura 3.4: Meccanismo articolato associato all'apertura a pantografo.

I restanti valori mostrati sono vincolati a scelte progettuali che verranno meglio definite nella sottosezione 3.4.2, in cui si affronta la progettazione strutturale del nuovo sarcofago. In particolare, l'altezza è pari a  $h=600\text{ mm}$ , (25 mm in più) per dare margine per l'inserimento del sistema di movimentazione orizzontale e la profondità è pari a  $l = 570\text{ mm}$  (anziché 530 mm) per riuscire ad avere l'interfaccia di presa della TIS e del sarcofago perfettamente allineati e centrati. Per quanto riguarda la distanza orizzontale del punto di attacco della parete frontale  $d_f = 20\text{ mm}$  è legata alla geometria della parete frontale, mentre quella verticale del punto di attacco sul sarcofago pari a  $d_t = 30\text{ mm}$  alle dimensioni del perno e della saldatura definiti nella

sottosezione 3.3.4.

Descritto il tutto, è possibile ora studiare il meccanismo articolato. In particolare, si ottiene il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{cases} d_f = l_1 + l_1 \cos(\gamma_1) + l_2 \cos(\gamma_2) + d_f \\ l_2 = h - d_t + l_1 \sin(\gamma_1) + l_2 \sin(\gamma_2) \end{cases} \quad (3.1)$$

Si osserva come 3.1 sia un sistema di due equazioni in tre incognite, da cui la necessità di scegliere un parametro da imporre al fine di ricavare dei valori per i restanti due. Per semplicità, si è optato per considerare in tal modo l'angolo  $\gamma_1$ .

Ricordando, quindi, che  $\gamma_2 = \gamma_1 - \frac{\pi}{2}$  e sviluppando, si ottiene:

$$\begin{cases} l_2 = -\frac{l_1(1 + \cos(\gamma_1))}{\sin(\gamma_1)} \\ l_1 = -\frac{h - d_t}{\sin(\gamma_1) + \frac{(1 + \cos(\gamma_1))^2}{\sin(\gamma_1)}} \end{cases} \quad (3.2)$$

Le equazioni in 3.2 sono state valutate per tre diversi valori di  $\gamma_1$ , riportati in tab. 3.1.

$\gamma_1$ [rad]	$l_1$ [mm]	$l_2$ [mm]	$Distanza_{max}$ [mm]
$\frac{4\pi}{3}$	493.63	285	96.37
$\frac{3\pi}{2}$	285	285	138.05
$\frac{5\pi}{3}$	164.54	285	184.54

Tabella 3.1: Valori di  $\gamma_1$  testati e relative configurazioni.

Con " $Distanza_{max}$ " si intende la distanza massima tra la parete in movimento e il resto del sarcofago, che corrisponde quindi alla distanza minima da tenere dal Supply Point. Essa si ottiene quando i due punti di attacco sono allineati lungo l'orizzontale e viene calcolata come segue:

$$d_{max} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2} - l_1 + 20 \quad (3.3)$$

dove 20 è la distanza orizzontale dell'attacco sulla parete mobile. Per una questione di compromesso tra l'ingombro delle braccia sulla parete laterale e di spazio di manovra massimo in fase di apertura/-chiusura, la scelta è caduta sul valore di  $\frac{3\pi}{2}$  (o  $-\frac{\pi}{2}$ ).

A causa delle dimensioni degli attuatori che verranno valutati in 3.3.2, anziché tenere le braccia con la conformazione ad "L" come è appena stato definito, si è passati ad un collegamento diretto tra i due punti di attacco con un unico componente rettilineo, di lunghezza  $l = \sqrt{l_1^2 + l_2^2} = 403 \text{ mm}$  e con angolo di partenza  $\gamma = \gamma_1 - \frac{\pi}{4} = \frac{5\pi}{4}$ . Ciò consente di mantenere tutte le condizioni al contorno finora definite e di poter proseguire l'analisi senza alcuna ulteriore modifica.

In definitiva quindi il meccanismo di apertura risulta essere quello di colore nero mostrato in fig. 3.5.

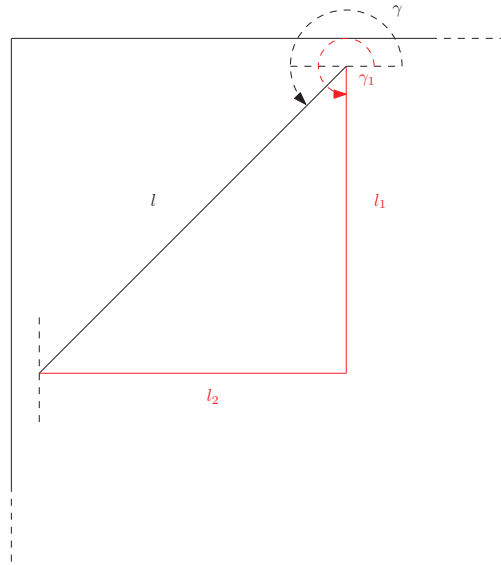


Figura 3.5: Meccanismo articolato modificato.

Il sistema risulterà completamente aperto dopo che si sarà compiuta una rotazione di  $\frac{\pi}{2}$ , che nello schema rosso di fig. 3.5 equivarrebbe all'istante in cui la componente del braccio di lunghezza  $l_1$  raggiunge l'orizzontale.

### 3.3.2 Scelta degli attuatori

Definita la geometria secondo lo schema di colore nero in fig. 3.5, è possibile svolgere un'analisi dinamica al fine di dimensionare gli attuatori necessari a movimentare il meccanismo di apertura.

L'unica forza da vincere presente nel sistema è quella peso della parete frontale, di massa assunta in prima approssimazione pari a  $100 \text{ kg}$ , ma corretta a  $115 \text{ kg}$  una volta definita la struttura del sarcofago (sottosezione 3.4.2). La coppia da vincere per movimentare il tutto è quindi ottenibile secondo l'equazione

$$C_r = F_p l \cos\left(\frac{\pi}{4} - \rho\right) \quad (3.4)$$

dove:

- $F_p$  è la forza peso dal sollevare per braccio, pari a  $F_p = 57.5 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 564.075 \text{ N}$ ;
- $l$  è la lunghezza del braccio definito in precedenza;
- $\rho$  è l'angolo di rotazione, variabile tra  $0$  e  $\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ .

Variando l'angolo di rotazione a scatti da  $5^\circ$  ( $= \frac{\pi}{36}$ ), si ottengono i diversi valori di coppia resistente (appendice A.1) che ad ogni istante devono essere vinti dagli attuatori per consentire il moto.

In particolare, si è virato verso gli attuatori pneumatici lineari, vincolandone gli estremi per mezzo di due accoppiamenti rotoidali, uno al telaio del sarcofago e uno al braccio. Si è deciso di evitare quelli elettrici poiché si sta lavorando in ambiente radioattivo e avrebbero necessitato di tutta una serie di accorgimenti (quali schermature opportune) che avrebbero aumentato l'ingombro degli stessi, cosa, dati i vincoli dimensionali stringenti, non fattibile.

Definito ciò, è necessario comprendere quanta forza fornita dall'attuatore lineare sia effettivamente impiegata per vincere la coppia resistente. Al fine di svolgere i calcoli riportati di seguito, si sono impiegati i parametri forniti dai datasheet di diversi pneumatici FESTO e diverse molle a gas WEFORMA. Inoltre, per comprenderne il principio di funzionamento, in appendice C.1 è riportata la tabella delle forze erogate dal cilindro, mentre la spiegazione del funzionamento delle molle in appendice C.8.

Si consideri, dunque, lo schema rappresentato in fig. 3.6.

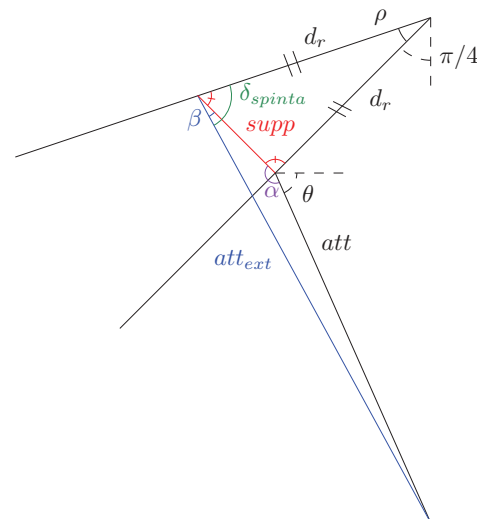


Figura 3.6: Angolo di spinta degli attuatori.

L'obiettivo è calcolare l'angolo di spinta (indicato in figura con  $\delta_{spinta}$ ), poiché grazie al suo seno sarà possibile definire la componente utile di forza. I parametri noti sono i seguenti:

- $att$ , ossia la lunghezza a riposo dell'attuatore, dipendente principalmente dalla corsa e dalla taglia dello stesso;
- $d_r$ , ossia la distanza del punto di attacco dal centro di rotazione;
- $\rho$ , ossia l'angolo di rotazione, il quale varia da 0 a  $\frac{\pi}{2} rad$ . Per effettuare i calcoli, verrà incrementato di  $5^\circ$  in  $5^\circ$ , come nel calcolo della coppia resistente;
- $\theta$ , ossia l'angolo di inclinazione di partenza rispetto l'orizzontale dell'attuatore;

Essendo  $d_r$  sempre costante, il triangolo che ha per vertice l'angolo di rotazione  $\rho$  risulta essere isoscele, da cui i due angoli alla base (indicati in rosso) sono a loro volta di uguale dimensione. Noto ciò, è possibile calcolare l'angolo  $\alpha$ , come:

$$\alpha = 2\pi - \left( \frac{\pi}{4} + \theta + \left( \frac{\pi - \rho}{2} \right) \right) \quad (3.5)$$

Inoltre, è possibile calcolare la lunghezza di  $supp$  per mezzo del teorema del coseno:

$$supp = \sqrt{2d_r^2 - 2d_r^2 \cos(\rho)} \quad (3.6)$$

In maniera totalmente analoga si può calcolare l'estensione che l'attuatore ha raggiunto per il particolare angolo di rotazione:

$$att_{ext} = \sqrt{att^2 + supp^2 - 2att \cdot supp \cdot \cos(\alpha)} \quad (3.7)$$

Fatto ciò, è possibile calcolare, per mezzo del teorema del seno, il valore dell'angolo  $\beta$ :

$$\beta = \arcsin \left( \frac{att}{att_{ext}} \sin(\alpha) \right) \quad (3.8)$$

Infine, quindi, l'angolo di spinta  $\delta_{spinta}$  sarà pari a:

$$\delta_{spinta} = \beta + \left( \frac{\pi - \rho}{2} \right) \quad (3.9)$$

La componente di forza che, moltiplicata per  $d_r$ , produrrà quindi una coppia motrice, che si opporrà a quella resistente dovuta alla forza peso, sarà pari a:

$$F_m = F_{attsen}(\delta_{spin}) \quad (3.10)$$

Seguendo un approccio *trial & error*, si sono individuate due possibili soluzioni:

- usare un cilindro pneumatico per lato, di alesaggio pari a  $63\text{ mm}$ , in grado di produrre in spinta una forza di  $1870\text{ N}$ , con punto di attacco a distanza  $d_r = 136.5\text{ mm}$ , con corsa utile  $193\text{ mm}$  ca. e angolo di partenza rispetto l'orizzontale pari a  $\frac{\pi}{2}$ ;
- usare un cilindro pneumatico per lato di alesaggio inferiore ( $40\text{ mm}$ ), in grado di produrre una forza di spinta pari a  $754\text{ N}$ , posizionato allo stesso modo del precedente e affiancare agli stessi una coppia di molle a gas con forza di spinta  $3200\text{ N}$ , posta a  $56,5\text{ mm}$  dal centro di rotazione, con corsa utile  $80\text{ mm}$  ca. e angolo di partenza rispetto l'orizzontale sempre pari a  $\frac{\pi}{2}$ .

Ricordando che il peso della parete frontale è di  $115\text{ kg}$ , nella prima configurazione, la coppia di cilindri scelta è stato dimensionata al fine di poter sollevare al massimo un peso complessivo di  $125\text{ kg}$ . Invece, nella seconda configurazione, la coppia di molle è scelta in maniera tale che da sola riesca a produrre circa l'80% della coppia necessaria a vincere quella resistente, e, una volta azionati i cilindri, si possa arrivare a sollevare una massa massima complessiva di  $140\text{ kg}$ . La prima soluzione avrebbe, quindi, un margine dell'8.6%, mentre la seconda del 12.2%.

Al fine di avere maggior margine in termini di capacità di sollevamento ed al tempo stesso ridurre l'ingombro laterale, si è optato per l'accoppiamento molla-cilindro, i cui valori di coppia motrice sono riportati in appendice A.1. Questa soluzione inoltre ha due vantaggi intrinseci:

- per far avvenire la chiusura del sistema, non sarà necessario azionare il cilindro per richiamare lo stelo, bensì basterà scollegare l'aria e lasciare che avvenga per gravità;
- a vantaggio di sicurezza, il sistema in assenza di aria rimarrà chiuso, garantendo la tenuta stagna.

Di seguito verranno riportati gli attuatori scelti e i relativi accessori.



Figura 3.7: Cilindro pneumatico **DSBC-40-200-PPVA-N3**.

Il codice prodotto del cilindro FESTO scelto, mostrato in fig. 3.7, è **DSBC-40-200-PPVA-N3**, dove:



- *DSBC* rappresente la linea di cilindri a doppio effetto standard, la cui norma di riferimento è la ISO 15552;
- *40* è l'alesaggio del cilindro;
- *200* è la corsa massima dello stelo;
- *PPV* indica la presenza di ammortizzatori regolabili su entrambi i lati;
- *A* definisce la predisposizione all'impiego di sensori magnetici.

Il suo catalogo è riportato in appendice [C.2](#).

Al cilindro sono stati associati diversi accessori. In primo luogo, per poter essere utilizzati nell'applicazione descritta finora, sono necessari uno snodo sferico (fig. 3.8), da avvitare sullo stelo del cilindro, e una flangia oscillante (fig. 3.9), da avvitare sulla estremità posteriore del cilindro.

Il codice prodotto dello snodo è **SGS-M12X1.25**, in cui:

- *SGS* indica che questa particolare famiglia è esente da manutenzione grazie alla combinazione di acciaio e bronzo PTFE nel cuscinetto girevole. La normativa di riferimento è la ISO 12240-4;
- *M12* indica il tipo di filettatura impiegata nel foro di attacco allo stelo;
- *1.25* indica il passo della medesima filettatura.



Figura 3.8: Snodo sferico **SGS-M12X1.25**.

Mentre il codice prodotto della flangia è **SNCS-40**, in cui:

- *SNCS* specifica la particolare famiglia di flange;
- *40* indica l'alesaggio del cilindro a cui va connesso.

I rispettivi cataloghi sono stati riportati in appendice [C.3](#) e [C.4](#).

Al fine di rilevare il raggiungimento della posizione iniziale e finale, dato che non si sfrutterà l'intera corsa, si è deciso di impiegare dei sensori di finecorsa magnetici (fig. 3.10) da inserire nella cave esterne del cilindro. In particolare, quelli scelti sono elettronici magneto-resistivi, il cui codice prodotto è **SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D**, dove:



Figura 3.9: Flangia oscillante SNCS-40.

- *SMT* è la sigla del sensore di prossimità;
- *8* indica che deve essere impiegato nelle cave a T;
- *M* indica che può essere inserito nella cava da sopra;
- *A* indica il design compatto;
- *PS* indica la presenza di 3 fili pnp, a contatto normalmente aperto;
- *24V* indica la tensione operativa;
- *E* indica che è adatto per applicazioni robotiche o movimentazione;
- *0,3* indica la lunghezza (in m) del cavo di collegamento integrato;
- *M8D* indica la tecnologia di connessione, standard M8, a cavo rotabile.



Figura 3.10: Sensore di prossimità SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D.

Per l'applicazione del caso, 30cm di cavo potrebbero non essere sufficienti, quindi si è deciso di integrare al sistema dei cavi di collegamento (fig. 3.11) aggiuntivi, di codice NEBU-M8G3-K-2.5-LE3, in cui:

- *NEBU* è la sigla del cavo di collegamento universale;
- *M8* indica lo standard di riferimento, norma EN 61076-2-104;
- *G* indica che l'uscita è in asse con la direzione longitudinale del cavo;

- 3 indica il numero di pin;
- *K* indica che il cavo è di caratteristiche standard;
- 2.5 indica la lunghezza dello stesso (in m);
- *LE* indica che l'estremità libera del cavo è aperta;
- 3 indica il numero di fili all'estremità libera.



Figura 3.11: Cavo di collegamento NEBU-M8G3-K-2.5-LE3.

I rispettivi cataloghi di questi due accessori sono riportati in appendice C.5 e C.6.

L'ultimo accessorio selezionato per il cilindro è il regolatore di portata (fig. 3.12), il cui codice prodotto è **GRLA-1/4-QS-8-D**, dove:

- *GRLA* è la sigla per i regolatori di portata unidirezionali;
- *1/4* indica la dimensione dell'attacco al cilindro (in pollici);
- *8* indica la dimensione dell'attacco alla sorgente (in mm);
- *D* indica la serie.



Figura 3.12: Regolatore di portata GRLA-1/4-QS-8-D.

Il catalogo associato al componente è riportato in appendice C.7.

Per quanto riguarda invece la molla a gas di WEFORMA, mostrata in fig. 3.13, il codice prodotto è **WM-G-40-100 (41)**, in cui:

- *WM-G* indica la famiglia di molle a gas standard;
- *40* indica il diametro del corpo;
- *100* indica la corsa massima dello stelo;



Figura 3.13: Molla a gas WM-G-40-100 (41).

- (41) indica che la molla verrà fornita degli accessori K4 e G4, ossia 2 snodi sferici avvitati alle estremità della stessa.

Il catalogo associato è riportato in appendice C.9 e C.10 .

A causa dell'interferenza che nascerebbe con il braccio una volta assemblata in quanto la molla va rigorosamente montata con lo stelo rivolto verso il basso, sull'estremo del corpo sarà necessario avvitare un'estensione (fig. 3.14).



Figura 3.14: CAD dell'estensione per la molla a gas.

Essa manterrà:

- la parte bassa delle medesime dimensioni della parte flettata maschio dell'estremo della molla, per potersi interfacciare allo snodo;
- la parte alta della medesima forma dello snodo sferico, con anche la stessa filettatura femmina per il foro di interfacciamento con la molla.

### 3.3.3 Dimensionamento della sezione delle braccia

In questa parte ci si occuperà del dimensionamento delle braccia in base alle forze e coppie alle quali sono sottoposte ed alle deformazio-

ni ad esse correlate.

Il materiale scelto è un acciaio inox, in particolare l'AISI 304L, caratterizzato da un modulo elastico  $E = 190 \text{ GPa}$ , un modulo elastico tangenziale  $G = 73 \text{ GPa}$  e da una tensione di snervamento  $\sigma_{sn} = 205 \text{ Mpa}$ .

Ai fini dell'analisi, la trave verrà considerata incastrata all'estremo vincolato al telaio del sarcofago: questa equivalenza è lecita poiché l'unica differenza dall'appoggio, sta nel fatto che il momento flettente che risulterà riportato all'incastro nel verso di rotazione, in verità sarà la coppia utile che consente di innescare il moto.

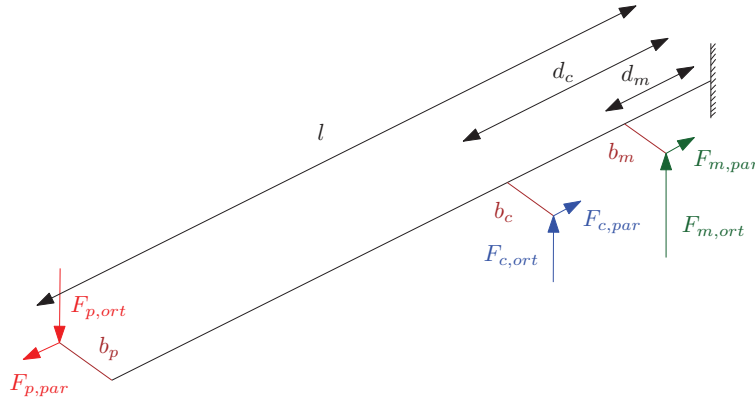


Figura 3.15: Sollecitazioni a cui risultano sottoposte le braccia del meccanismo di apertura.

Si consideri lo schema riportato in fig. 3.15. I parametri indicati sono:

- $F_{p,ort} = F_p \cos\left(\frac{\pi}{4} - \rho\right)$  è al componente di forza peso che genera la coppia resistente al moto;
- $F_{p,par} = F_p \sin\left(\frac{\pi}{4} - \rho\right)$  è la componte di forza peso parallela alla luce della trave;
- $b_p$  è la lunghezza utile del perno che collega la parete frontale alle braccia;
- $l$  è la lunghezza complessiva del braccio o, meglio, la distanza tra i due punti di attacco;
- $F_{c,ort} = F_c \sin(\delta_{c,spin})$  è la componente della forza prodotta dal cilindro che consente il moto;
- $F_{c,par} = F_c \cos|\delta_{c,spin}|$  è la componente della forza prodotta dal cilindro parallela alla luce della trave;
- $b_c$  è la lunghezza utile del perno che collega il cilindro al braccio;
- $d_c$  è la distanza a cui si trova il perno del cilindro dall'estremo vincolato;

- $F_{m,ort} = F_m \sin(\delta_{c,spin})$  è la componente di forza prodotta dalla molla che consente il moto;
- $F_{m,par} = F_m \cos|\delta_{c,spin}|$  è la componente di forza prodotta dalla molla parallela alla luce della trave;
- $b_m$  è la lunghezza utile del perno che collega la molla al braccio;
- $d_m$  è la distanza a cui si trova il perno della molla dall'estremo vincolato.

Con lunghezza utile del perno, si intende la distanza tra il punto di applicazione della forza concentrata e l'asse neutro della trave: ciò implicherà la nascita anche di momenti torcenti o flettenti indesiderati dei quali è necessario tenere conto.

In particolare, supponendo che la direzione di sviluppo della trave corrisponda all'asse  $x$  di un sistema di riferimento ausiliario, che la direzione di sviluppo dei perni corrisponda all'asse  $y$  e che la direzione verticale corrisponda all'asse  $z$ , è possibile semplificare lo schema di fig. 3.15 come indicato in fig. 3.16.

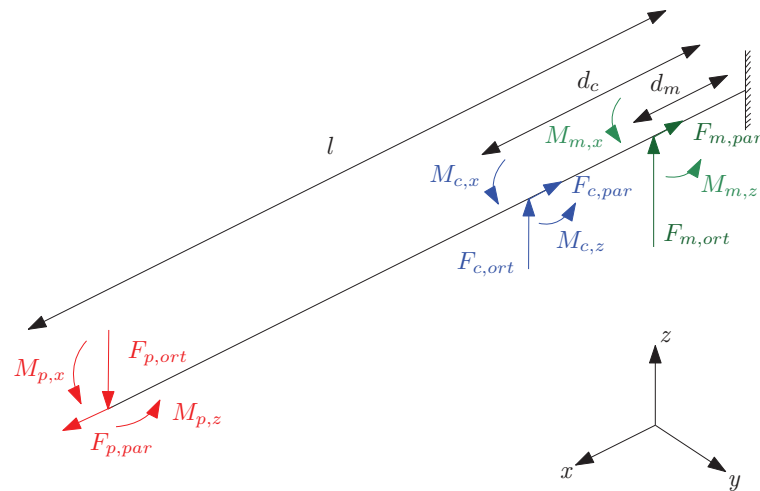


Figura 3.16: Rielaborazione delle sollecitazioni a cui risultano sottoposte le braccia del meccanismo di apertura.

I nuovi momenti sono definiti come:

$$M_{*,x/z} = F_{*,ort/par} b_* \quad (3.11)$$

rendendo, di conseguenza, questo sistema completamente equivalente al precedente. I valori di  $b_*$  vengono definiti nella sottosezione 3.3.4, nella quale vengono dimensionati i perni.

Definito ciò, è possibile analizzare il diagramma del corpo libero sostituendo all'incastro le reazioni vincolari [14] [4] ad esso associate:

$$\begin{cases} R_z = F_{p,ort} - F_{c,ort} - F_{m,ort} \\ R_x = F_{p,par} - F_{c,par} - F_{m,par} \\ M_{r,z} = M_{p,z} - M_{c,z} - M_{m,z} \\ M_{r,x} = -M_{p,x} - M_{c,x} - M_{m,x} \\ M_{r,y} = F_{p,ort}l - F_{c,ort}d_c - F_{m,ort}d_m \end{cases} \quad (3.12)$$

I termini  $F_{p,par}$  e  $M_{p,z}$  presenti nella seconda e nella terza equazione del sistema 3.12 cambieranno segno durante la rotazione: in particolare casueranno trazione e flessione verso l'esterno (+) fintantoché l'angolo di rotazione  $\rho \in \left[0; \frac{\pi}{4}\right] rad$ , ma compressione e flessione verso l'interno (-) fintantoché l'angolo di rotazione  $\rho \in \left[\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{2}\right] rad$ . Inoltre, è opportuno osservare che la quinta equazione del sistema 3.12 corrisponda di fatto alla coppia che consente la movimentazione del sistema, come già anticipato in precedenza.

Come per il calcolo della coppia, si è variato l'angolo di rotazione a scatti di  $5^\circ$  ottenendo i valori delle singole reazioni vincolari punto per punto, anche in questo caso riportati in appendice A.2, per la fase di salita, e A.3, per quella di discesa, al fine di facilitare la lettura.

Al fine di semplificare la successiva analisi, si è applicato il principio di sovrapposizione degli effetti, isolando i contributi costanti dati dai momenti spuri, ossia  $M_z$ , flessione laterale, e  $M_x$ , torsione della trave, che verranno ripresi nel calcolo delle tensioni, e si sono tracciati i diagrammi di sollecitazione del braccio con ciò che rimane.

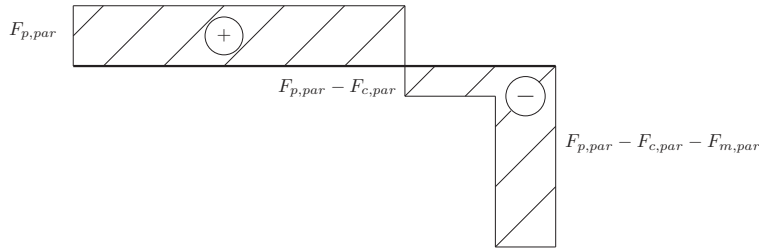


Figura 3.17: Diagramma dello sforzo normale (salita).

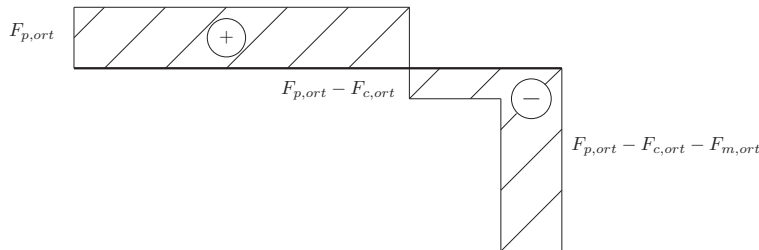


Figura 3.18: Diagramma dello sforzo di taglio (salita).

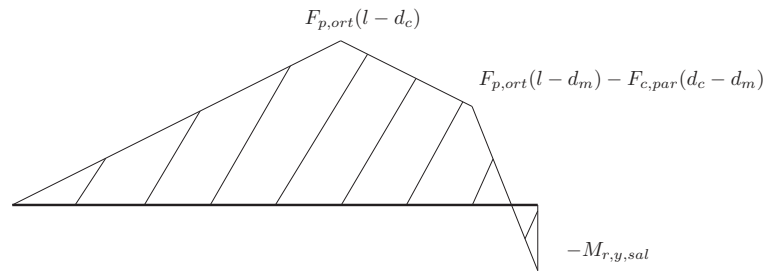


Figura 3.19: Diagramma del momento flettente (salita).

In particolare, i diagrammi mostrati in fig. 3.17, 3.18 e 3.19 sono rappresentativi degli sforzi a cui risulta sottoposta la trave in fase di salita. In discesa, in cui il cilindro è inattivo, non producendo alcuna forza, i diagrammi vengono modificati come indicato in fig. 3.20, 3.21, 3.22.

Nei diagrammi in fig. 3.17 e 3.20 è importante ricordare che il contributo di dato dalla forza peso cambia segno, passando da trazione a compressione al variare dell'angolo di rotazione.

I diagrammi indicatori dei punti più critici risultano essere, normalmente ed anche in questo caso, quelli del momento flettente: in particolare in salita (fig. 3.19) il punto critico è quello di connessione tra cilindro e braccio in discesa (fig. 3.22) quello tra quest'ultimo e la molla.

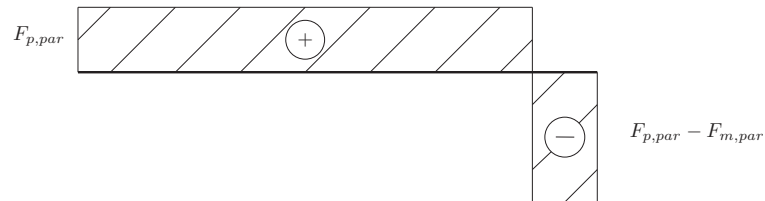


Figura 3.20: Diagramma dello sforzo normale (discesa).

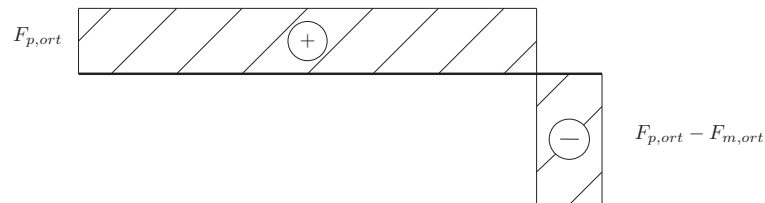


Figura 3.21: Diagramma dello sforzo di taglio (discesa).

Definito ciò, è possibile riconsiderare i momenti spuri, che erano stati trascurati nella trattazione, e passare allo studio delle tensioni per comprendere quale, tra le due alternative individuate sia effettivamente la più critica e poter quindi definire la sezione della trave.

I valori puntuali di tutti gli sforzi utilizzati per i calcoli successivi sono riportati in appendice A.4, per la salita, e A.5, per la discesa, ordinati al variare dell'angolo di rotazione.



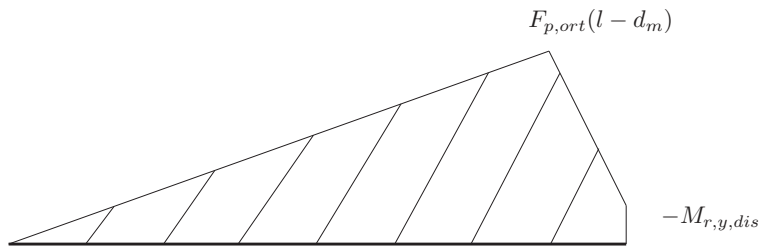


Figura 3.22: Diagramma del momento flettente (discesa).

La sezione del braccio viene supposta rettangolare, con un rapporto altezza/base pari a 2, essendo presenti momenti flettenti sia attorno all'asse  $y$  che all'asse  $z$ .

Le formule per il calcolo delle tensioni [14] [4] sono di seguito riportate:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sfuerzo normale :} \quad \sigma_n = \frac{N}{bh} \\ \text{momento flettente :} \quad \sigma_m = \frac{M_f}{W_f} \\ \text{taglio :} \quad \tau_t = \frac{3}{2} \frac{T}{bh} \\ \text{momento torcente :} \quad \tau_m = \alpha \frac{M_t}{hb^2} \end{array} \right. \quad (3.13)$$

dove:

- $N$  è lo sforzo normale, può essere di trazione o compressione;
- $b$  è la base della sezione, costituisce il lato di misura minore;
- $h$  è l'altezza della sezione, costituisce il lato di misura maggiore;
- $M_f$  è il momento flettente;
- $W_f = \frac{1}{6}bh^2$  è il modulo di resistenza alla flessione ( $b$  e  $h$  posso scambiarsi, dipende dal punto di applicazione del momento);
- $T$  è lo sforzo di taglio;
- $M_t$  è il momento torcente;
- $\alpha$  è un coefficiente correttivo, di valore 4.37 nel caso di rapporto altezza/base pari a 2.

Ai fini del ragionamento, è importante ricordare il comportamento che le tensioni hanno all'interno di una sezione rettangolare, in particolare:

- le tensioni  $\sigma_n$  legate a trazione/compressione sono uniformemente distribuite lungo l'intera sezione;
- le tensioni  $\sigma_m$  legate al momento flettente hanno un andamento lineare, con massimi sulle facce dove le fibre sono distese/comprese;
- le tensioni  $\tau_t$  legate allo sforzo di tagli hanno un andamento parabolico, con valore massimo al centro del lato di sezione parallelo alla direzione di applicazione dello sforzo;
- le tensioni  $\tau_m$  legate al momento torcente hanno un andamento spiegabile per mezzo dell'analogia fluidodinamica, e presentano due massimi a metà dei lati della sezione, legati tra loro dalla relazione  $\tau_b = \frac{\tau_h}{2}$ , dove 2 è il rapporto tra l'altezza e la base.

Di conseguenza, è possibile individuare 3 punti (fig. 3.23) all'interno della sezione del braccio da considerare come critici, ossia dove la combinazione delle tensioni è in potenza di assumere il massimo:

- il punto a metà della base;
- il vertice;
- il punto a metà dell'altezza.

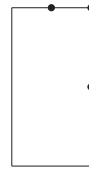


Figura 3.23: Punti critici della sezione.

I calcoli delle tensioni equivalenti in ognuno di questi, secondo il criterio di Von Mises [14] [4], sarà pari a:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{meta' base :} \\ \text{meta' altezza :} \\ \text{vertice :} \end{array} \right. \quad \sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{N}{bh} + \frac{6M_{f,vert}}{bh^2}\right)^2 + 3\left(\frac{\alpha}{2} \frac{M_t}{hb^2}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{N}{bh} + \frac{6M_{f,lat}}{hb^2}\right)^2 + 3\left(\alpha \frac{M_t}{hb^2} + \frac{3}{2} \frac{T}{bh}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{N}{bh} + \frac{6M_{f,vert}}{bh^2} + \frac{6M_{f,lat}}{hb^2}$$
(3.14)

Invece di rielaborare le equazioni presentate nel tentativo di ottenere i parametri  $b$  e  $h$  per via analitica, si è deciso di osservare quali sono gli spessori standard di mercato per le lastre di acciaio AISI 304L e di verificare quali potessero essere impiegati, ponendo come base

lo spessore e l'altezza come il suo doppio.

Da ciò, è stato possibile valutare le equazioni in 3.14, per ciascuna delle due sezioni critiche individuate, considerando i valori dei singoli sforzi per gli angoli di rotazione  $\rho = 0, \frac{\pi}{4} \text{ rad}$ , poiché corrispondenti alle posizioni dove i momenti flettenti, o in z o in y, assumono i massimi. Tra i diversi spessori valutati, il primo a garantire un coefficiente di sicurezza maggiore di 2 è risultato il profilo da 20 mm di spessore, con conseguente altezza 40 mm, da cui la conseguente scelta.

I risultati che si ottengono sono riportati in tab. 3.2.

Sezione []	$\rho$ [rad]	Punto sez. []	Von-Mises [MPa]	C.S. statico []
Att. molla (dis)	$\frac{\pi}{4}$	Top (centro)	41.52	4.94
		Lat (centro)	46.96	4.37
		Vertice	37.87	5.41
	o	Top (centro)	31.34	6.54
		Lat (centro)	40.90	5.01
		Vertice	49.78	4.12
Att. cilindro (sal)	$\frac{\pi}{4}$	Top (centro)	34.26	5.98
		Lat (centro)	46.15	4.44
		Vertice	27.09	7.58
	o	Top (centro)	26.40	7.77
		Lat (centro)	43.35	4.73
		Vertice	46.45	4.41

Tabella 3.2: Tensioni equivalenti di Von-Mises e relativi coefficienti di sicurezza per le due sezioni critiche.

Il coefficiente di sicurezza statico è stato calcolato ponendo in rapporto la tensione di snervamento dell'acciaio AISI 304L,  $\sigma_{sn} = 205 \text{ MPa}$ , con le tensioni equivalenti di Von-Mises.

Si osserva che il punto più critico in assoluto è quello sul vertice della sezione quando le braccia sono in fase di azionamento: il coefficiente di sicurezza è comunque maggiore del minimo richiesto (2) e pari a 4.12.

Come ulteriore verifica, si sono valutate le defomazioni all'estremo della trave [14] [4], ponendo come limite superiore l' $\frac{1}{20}$  dello spessore, pari quindi ad 1 mm.

Le formule utilizzate sono le seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{ll}
 \text{Forza :} & \eta = \frac{1}{3} \frac{Fl^3}{EJ} \\
 & \phi = \frac{1}{2} \frac{Fl^2}{EJ} \\
 \text{Momento flettente :} & \eta = \frac{1}{2} \frac{M_f l^2}{EJ} \\
 & \phi = \frac{M_f L}{EJ} \\
 \text{Momento torcente :} & \theta_u = \beta \frac{M_t}{Ghb^3}
 \end{array} \right. \quad (3.15)$$

dove:

- $\eta$  rappresenta la deformazione del punto di applicazione, espressa in [mm];
- $\phi$  rappresenta l'angolo di rotazione del punto di applicazione, espresso in [rad];
- $\theta_u$  rappresenta l'angolo di rotazione unitario, espresso in [rad/mm];
- $E$  è il modulo elastico del materiale della trave, per l'AISI 304L pari a 190000 MPa;
- $G$  è il modulo elastico tangenziale del materiale della trave, per l'AISI 304L pari a 73000 MPa;
- $\beta$  è un coefficiente correttivo, pari a 4.06 per il rapporto altezza/base pari a 2;
- $l$  è la lunghezza del braccio;
- $b$  è la base della sezione;
- $h$  è l'altezza della sezione;
- $J$  è il momento geometrico del secondo ordine, per una sezione rettangolare pari a  $\frac{1}{12}bh^3$  (o con  $b$  e  $h$  scambiati, in base al lato di applicazione).

Da queste è possibile ricavare le deformazioni complessive lungo i singoli assi, per mezzo della sovrapposizione degli effetti: si sommano tra loro le deformazioni ottenute nei singoli punti di applicazione a cui poi si aggiungono i contributi legati alle rotazioni moltiplicate per la distanza dall'estremo libero. La questione è leggermente diversa per quanto riguarda l'angolo di torsione: infatti in questo caso

bisogna moltiplicare il valore dell'angolo unitario per la lunghezza della trave, così da ottenere l'angolo di rotazione all'estremo libero che, moltiplicato per  $\frac{b}{2} \left( o \frac{h}{2} \right)$  fornirà la deformazione lungo l'asse  $z$  (o  $y$ ).

$\rho$ [rad]	Fase di moto []	Def. compl. $z$ [mm]	Def. compl. $y$ [mm]
0	salita	0.253	0.276
	discesa	0.335	0.231
$\frac{\pi}{4}$	salita	0.359	0.011
	discesa	0.473	0.006

Tabella 3.3: Deformazioni massime dell'estremo libero.

In appendice sono riportate le tabelle con i valori delle deformazioni dovute alle forze  $F_{ort}$  (A.6) ed ai momenti spuri  $M_t$  (A.8 e A.9) e  $M_{f,lat}$  (A.7), distinte in base alla fase di salita o discesa: da queste è possibile osservare che le deformazioni causate dal momento torcente sono dell'ordine del centesimo di millimetro, da cui trascurabili rispetto alle altre sull'ordine del decimo di millimetro, i cui valori massimi, con rispettivo angolo di rotazione  $\rho$  sono riportati in tab. 3.3: la deformazione massima si ottiene quando le forze applicate alla trave sono il più verticale possibile, ossia quando  $\rho = \frac{\pi}{4} rad$ , raggiungendo quasi  $0.5 mm$ , comunque inferiore al limite di  $1 mm$  che ci si è imposti.

Infine, dato che il sistema verrà impiegato 1 volta al mese, seguendo i ritmi di scarico delle TIS unit esauste precedentemente illustrati, non si è ritenuto necessario effettuare una verifica a fatica della vita delle stesse.

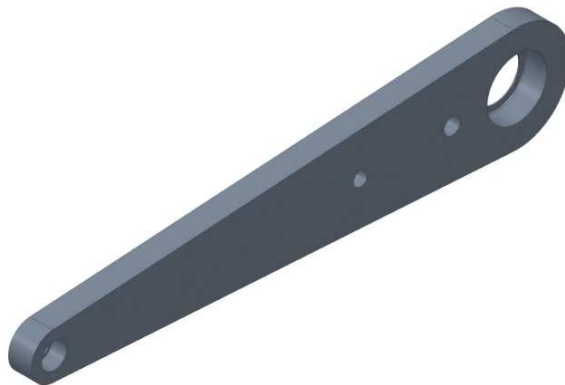


Figura 3.24: CAD delle braccia del sistema di apertura frontale.

In fig. 3.24 è riportato il CAD del braccio nella sua versione finale: i fori presenti sono legati alla necessità di accoppiamento per mezzo

dei perni (sottosezione 3.3.4) al resto del sistema. In particolare, a causa delle dimensioni degli stessi e dei cuscinetti (sottosezione 3.3.6) utilizzati, è possibile osservare come la sezione della trave non sia costante: essa infatti varia da  $20 \times 40 \text{ mm}$  all'estremo che si accoppia con la parete frontale, fino a  $20 \times 92 \text{ mm}$  all'estremo che si accoppia con il resto del sarcofago. Ciò garantirà coefficienti di sicurezza più elevati e deformazioni minori che verranno verificate e quantificate per mezzo di Ansys® (sezione 3.5).

### 3.3.4 Dimensionamento dei perni e relative unioni

In questa sottosezione ci si occuperà del dimensionamento dei perni di connessione tra i vari elementi in gioco. In totale essi sono sei (coppie):

- perno di connessione tra braccio e sarcofago;
- perno di connessione tra braccio e parete frontale;
- perno di connessione tra cilindro pneumatico e sarcofago;
- perno di connessione tra molla a gas e sarcofago;
- perno di connessione tra braccio e cilindro pneumatico;
- perno di connessione tra braccio e molla a gas.

I primi quattro verranno tutti saldati o sulla parete frontale o sul sarcofago stesso, mentre gli ultimi due verranno fissati con un'unione bullonata verificata a taglio. Il materiale scelto per la loro realizzazione rimane lo stesso delle braccia, ossia l'AISI 304L, al fine di evitare l'operazione di vernicitatura.

I perni che verranno saldati possono considerarsi come dei perni a sbalzo e, date le dimensioni, vengono dimensionati a flessione: si calcola il valore del diametro minimo necessario a partire della tensione massima nel punto di attacco all'incastro è imponendola inferiore di quella di snervamento del materiale scelto riscalata di un fattore 0.6 (*criterio di Guest* [14][4]). In formula:

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W_f} < 0.6\sigma_{sn} \quad (3.16)$$

dove:

- $M_f$  è il momento flettente agente radialmente al perno;
- $W_f$  è il modulo di resistenza alla flessione, che per una sezione circolare è pari a  $\frac{\pi}{32}d^3$ , con  $d$  diametro della sezione.

Da questa è possibile ricavare che il diametro minimo è pari a:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32M_f}{0.6\sigma_{sn}}} \quad (3.17)$$

Definito questo, è possibile verificare all'estremo del perno equivalente di lunghezza utile le deformazioni e gli angoli di rotazione: quest'ultimi verranno impiegati poi nelle verifiche per la scelta dei cuscinetti a sfera, in particolare di quello tra sarcofago e braccio. Per effettuare i calcoli, si sono riprese le equazioni riportate in 3.15, ad eccezione di quella sulla torsione, con alcune modifiche:

- $l \rightarrow l_u$ , ossia la lunghezza utile del perno;
- $J = \frac{\pi}{64}d^4$ , con  $d$  diametro della sezione circolare.

Tutti i perni, ad eccezione di uno, si vedono scaricata solamente una forza radiale, corrispondente a quella peso o di spinta di uno dei due attuatori, da cui l'elevata facilità nello svolgere i calcoli appena indicati.

Viceversa sul perno di connessione tra braccio e sarcofago si scaricheranno tutte le reazioni vincolari calcolate nella sottosezione 3.3.3, ad eccezione chiaramente del momento  $M_y$  essendo corrispondente alla coppia motrice, i cui valori al variare dell'angolo sono riportati in appendice A.2, in quanto la salita rappresenta il caso peggiore. In particolare, sarà quindi necessario, per la definizione del diametro minimo, calcolare il momento riportato all'incastro prima come scomposto in contributi lungo l'asse  $x$  e  $y$ , per poi ricomporli con il *teorema di Pitagora*. Per quanto riguarda le deformazioni, è necessario anche in questo caso calcolare i contributi di deformazione lungo i due assi, per poi ricomporli in un'unica deformazione deviata.

In tab. 3.4 sono riportati i valori massimi dei parametri del perno tra braccio e sarcofago: dalle tabelle in appendice A.10, si evince che essi risultano essere abbastanza indipendenti dall'angolo di rotazione e di intensità differente per centesimi di unità, per cui per il calcolo delle deformazioni ci si è avvalsi solo del caso peggiore riscontrato. In tab. 3.5, invece, sono elencati quelli dei perni restanti.

$l_u$ [mm]	$M_f$ [Nmm]	$d_{min}$ [mm]	$d$ [mm]	$\eta$ [mm]	$\phi$ [rad]
22	170868	24.19	31	0.004	0.00035

Tabella 3.4: Parametri massimi del perno tra sarcofago e braccio.

Il valore di lunghezza utile pari a 22 mm è legato alla distanza del braccio dal sarcofago, posta pari a 12 mm a cui si è aggiunta metà del valore della base della sezione, pari a 20 mm, poiché le forze si suppongono concentrate, per le ipotesi fatte nelle precedenti sottosezioni, lungo l'asse neutro.

Il diametro invece è impostato a 31 mm per via dello spallamento necessario al cuscinetto a sfere scelto (sottosezione 3.3.6).

Perno []	$F_r$ [N]	$l_u$ [mm]	$M_f$ [Nmm]	$d_{min}$ [mm]	d [mm]	$\eta$ [mm]
br-par	564.075	22	12409.65	10.09	12	0,0104
cil-sar	754	22	16588	11,12	14	0.0075
mol-sar	3200	23.5	75200	18.40	25	0.0038

Tabella 3.5: Parametri dei perni restanti.

La lunghezza utile del primo corrisponde alla stessa del perno tra braccio e sarcofago, mentre le altre due sono date dalla distanza dalla piastra di supporto, (sottosezione 3.4.3) pari a 14 mm, a cui va sommata metà della dimensione dei rispettivi snodi sferici, ossia per la molla 19 mm e per il cilindro 16 mm.

Il diametro del primo perno è impostato a 12 mm poiché è lo spallamento richiesto dal cuscinetto a sfere impiegato (sottosezione 3.3.6), mentre gli altri due sono stati scelti in maniera tale da irrigidirli il più possibile senza però essere d'ingombro per il normale funzionamento dei rispettivi attuatori.

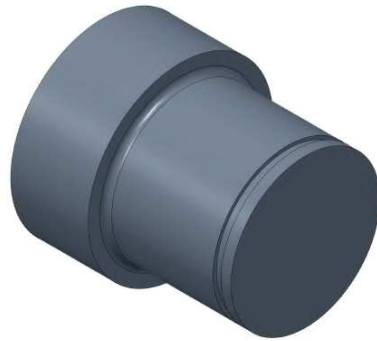


Figura 3.25: CAD del perno di connessione tra braccio e sarcofago.

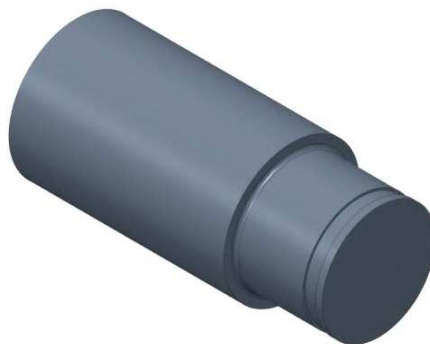


Figura 3.26: CAD del perno di connessione tra braccio e parete frontale.



In fig. 3.25 e 3.26 sono riportati i CAD dei perni di connessione tra, rispettivamente, braccio e sarcofago e tra braccio e parete frontale. Essi presentano un assottigliamento della parte terminale, legata alla necessità di inserimento all'interno dei rispettivi cuscinetti (sottosezione 3.3.6). Il primo avrebbe una lunghezza utile pari a  $9\text{ mm}$ , ossia metà spessore del cuscinetto, con conseguente  $d_{min} = 21.9\text{ mm}$  e scelto pari a  $25\text{ mm}$  essendo la dimensione del foro del cuscinetto. Per quanto riguarda il secondo invece, con considerazioni analoghe, si avrebbe  $l_u = 3\text{ mm}$ ,  $d_{min} = 5.2\text{ mm}$  e  $d = 10\text{ mm}$ . Al fine di ottenere un accoppiamento per interferenza con i cuscinetti, i due tratti di perno appena descritti avranno una classe di tolleranza, rispettivamente, pari a  $k_5$  ed  $m_5$ .



Figura 3.27: CAD del perno di connessione tra cilindro e sarcofago.

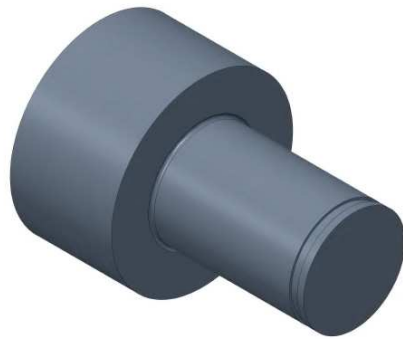


Figura 3.28: CAD del perno di connessione tra molla e sarcofago.

In fig. 3.27 e 3.28 sono riportati i CAD dei perni di connessione tra, rispettivamente, cilindro e sarcofago e tra molla e sarcofago. Anche in questo caso la parte terminale risulta di diametro minore per l'inserimento negli snodi sferici dei due attuatori: in particolare, i diametri sono rispettivamente  $12\text{ mm}$  e  $14\text{ mm}$ , imposti dalle dimensioni dei fori in cui devono essere collocati.

Anche in questo caso si vuole ottenere un accoppiamento per interferenza, da cui la classe di tolleranza dei due tratti appena descritti

sarà pari, per entrambi, a  $p_6$ .

Il posizionamento di questi due perni sarà tale da garantire che i due attuatori nella posizione di riposo siano perfettamente verticali: i valori di posizionamento precisi verranno trattati nella sottosezione 3.4.3.

Una volta completamente definita la struttura definitiva dei perni, è necessario definire l'altezza della saldatura ad angolo [12] da effettuare per fissare i perni alle parti del sarcofago interessate.

A tal scopo è necessario introdurre il concetto di tensioni di taglio primario e secondario:

- le prime sono legate alle forze scaricate sulla saldatura, secondo la formula  $\tau' = \frac{F}{A}$ ;
- le seconde sono legate ai momenti scaricati sulla saldatura, secondo la formula  $\tau'' = \frac{M}{J}r$ .

Le forze ed i momenti coinvolti sono quelli scaricati dai perni sul sarcofago calcolati in precedenza, mentre i restanti parametri sono:

- $r$  è il raggio del cerchio interno della saldatura, essendo di forma circolare;
- $A = 2\pi r b$ , area della sezione associata alla saldatura circolare;
- $J = \pi r^3 b$ , momento geometrico del secondo ordine associato alla saldatura circolare;
- $b$  è il valore della bisettrice riferita all'ipotenusa del triangolo isoscele di saldatura (fig. 3.29).

$b$ , inoltre, è chiave nell'analisi in quanto strettamente legato all'altezza di saldatura  $h = b\sqrt{2}$  (fig. 3.29): è necessario quindi trovare una procedura per ricavare questo parametro.

Si suppone, in primo luogo,  $b = 1 \text{ mm}$ . A partire da questo è possibile calcolare i valori unitari di  $A$  e  $J$ :

$$\begin{cases} A_u = 2\pi r \\ J_u = \pi r^3 \end{cases} \quad (3.18)$$

Da queste è possibile ricavare le seguenti tensioni di taglio unitarie:

$$\begin{cases} \tau'_u = \frac{F}{A_u} \\ \tau''_u = \frac{M}{J_u}r \end{cases} \quad (3.19)$$

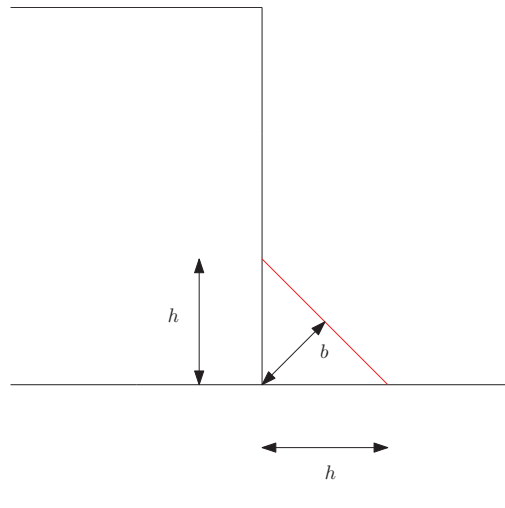


Figura 3.29: Esempio di saldatura ad angolo.

Le tensioni compressive sono date dalla somma di questi due contributi. Queste si impongono, poi, al più pari a  $\tau_{amm} = \frac{\sigma_{sn}}{4} = 51.25 \text{ MPa}$ , in quanto la saldatura verrà effettuata per mezzo di apporto del medesimo materiale dei perni, acciaio AISI 304L. Impostato ciò, si può ricavare il valore minimo di  $b$ :

$$b_{min} = \frac{\tau'_u + \tau''_u}{\tau_{amm}} \quad (3.20)$$

In tab. 3.6 sono riportati i risultati per ciascun perno.

Perno []	$r$ [mm]	$A_u$ [mm <sup>2</sup> ]	$J_u$ [mm <sup>4</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]	$b_{min}$ [mm]	$h_{min}$ [mm]
br-sarc	15.5	97.39	11698,90	267.05	5.21	7.37
br-par	6	37.70	678.58	124.69	2.43	3.44
cil-sar	7	43.98	1077.57	124.90	2.44	3.45
mol-sarc	12.5	78.54	6135.92	193.94	3.78	5.35

Tabella 3.6: Altezze di saldatura minime per ciascun perno.

Risulta opportuno ricordare che nel caso del perno di connessione tra braccio e sarcofago le tensioni di taglio saranno calcolate a partire dalle singole reazioni vincolari scaricate dal perno. Come discusso in precedenza, esse sono scomposte in varie componenti lungo i singoli assi: sarà quindi necessario prima calcolare le tensioni di taglio, primarie o secondarie, scomposte, ricombinarle con *Pitagora* e poi calcolare la tensione totale dalla loro somma. Tutti risultati ottenuti al variare dell'angolo di rotazione sono riportati in appendice A.11, mentre in tab. 3.6 solo quelli associati alla massima tensione.

I valori effettivi di altezza di saldatura sono semplicemente quelli minimi arrotondati per eccesso al mezzo o all'unità, in base a quale di queste sia la più prossima.

Essendo la saldatura un processo che normalmente non garantisce elevata precisione di posizionamento, si è deciso, per risolvere, di aggiungere un'estrusione coassiale sull'estremità da saldare (fig. 3.30) di diametro 5 mm e lunghezza 2 mm da inserire in dei fori, realizzati tramite un macchina a controllo numerico, delle medesime dimensioni sulle superfici su cui andranno saldati.



Figura 3.30: Estrusione di supporto per il posizionamento corretto dei perni.

Terminata questa analisi, è possibile passare allo studio dei perni di connessione tra il braccio e gli attuatori, cilindro pneumatico e molla a gas. Per quanto riguarda la dimensioni, come accennato anche per quelli tra attuatori e sarcofago, esse sono vincolate a quelle dei fori dei due snodi sferici utilizzati. In particolare, il perno per il cilindro pneumatico ha un diametro pari a 12 mm, mentre quello per la molla a gas pari a 14 mm.

Essi verranno impiegati per un unione bullonata a taglio [15], da cui sarà necessario verificare:

- la tensione di taglio sui perni;
- la tensione di trazione a cui risulta sottoposto il braccio;
- la tensione di rifollamento a cui risulta sottoposto il foro sul braccio.

La prima, per una trave a sezione circolare di raggio  $r$  sottoposta ad una forza di taglio  $T$ , è pari a:

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{T}{\pi r^2} \quad (3.21)$$

La seconda, invece, per una trave come le braccia di lunghezza  $l$ , a sezione rettangolare  $b \times h$ , con un foro di diametro  $d$ , è pari a:

$$\tau = \frac{T}{b(l-d)} \quad (3.22)$$

Infine la terza, sotto le stesse ipotesi della precedente:

$$\tau = \frac{T}{bd} \quad (3.23)$$

In tab. 3.7 sono riportati i valori delle tensioni appena descritte per i due perni. In particolare, la tensione di trazione non viene riportata dato il valore irrisorio che assumerebbe per l'elevata lunghezza del braccio rispetto alle altre dimensioni in gioco.

Perno []	$T$ [N]	$d$ [mm]	$\tau_{tag}$ [MPa]	$C_{s,tag}$ []	$\tau_{rif}$ [MPa]	$C_{s,rif}$ []
cil-br	754	12	8.89	13.31	3.14	65.25
mol-br	3200	14	27.72	4.27	11.43	17.94

Tabella 3.7: Verifica a taglio dei perni di connessione tra braccio e attuatore.

I coefficienti di sicurezza, sono dati dalla seguente relazione:

$$\tau \leq \tau_{amm} = \frac{\sigma_{sn}}{\sqrt{3}} \rightarrow C_s = \frac{\tau_{amm}}{\tau} \quad (3.24)$$

dove  $\sigma_{sn} = 205MPa$  ed è riscalato di un fattore  $\sqrt{3}$  secondo il criterio delle tensioni equivalenti di Von-Mises. In particolare, è necessario che quelli legati alla tensione di taglio siano con coefficiente di sicurezza  $\geq 3$ , per via del fatto che non si sono analizzati i momenti flettenti, non essendo possibile definirne i comportamenti.



Figura 3.31: CAD del perno di connessione tra cilindro e braccio.

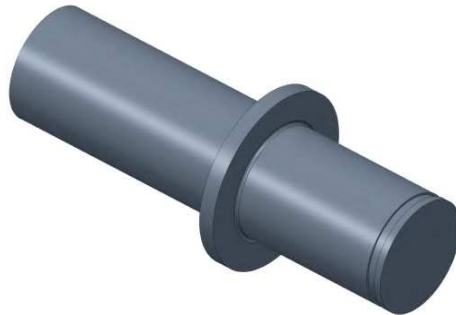


Figura 3.32: CAD del perno di connessione tra molla e braccio.

In fig. 3.31 e 3.32 sono riportati i CAD dei due perni appena dimensionati. Rispetto a quanto visto finora, ci sono alcune modifiche: in

primo luogo salta all'occhio la presenza di un'estrusione di diametro maggiore, per il cilindro di 18 mm e per la molla di 22 mm, che verrà utilizzato per applicare una coppia di serraggio, tramite un bullone e una rosetta antisvitamento, per mantenerli in posizione e garantire che non ruotino a causa del moto trasmesso.



Figura 3.33: Unione bullonata dei perni di connessione tra attuatori e braccio.

Al fine di ottenere un accoppiamento per interferenza con gli snodi sferici, la porzione a destra dell'estrusione di questi due perni deve avere una tolleranza dimensionale di classe p6, come per quelli tra sarcofago e attuatori, mentre quella a sinistra, nella parte non filettata, deve essere h7 per avere un accoppiamento con gioco, vista comunque la presenza del serraggio di supporto. I fori delle braccia in cui saranno inseriti, di conseguenza, avranno una tolleranza dimensionale di classe H7.

Infine, è importante mettere in evidenza alcuni aspetti riguardanti tutti i perni progettati:

- in presenza di alterazioni della sezione sono sempre stati realizzati dei raccordi per ridurre al minimo gli effetti degli intagli, seppur la fatica, come discusso in precedenza, abbia effetti trascurabili;
- gli estremi destri dei perni sono stati allungati e scavati (fig. 3.34) al fine di consentire l'inserimento di anelli seeger DIN 471 dopo l'assemblaggio, al fine di annullare totalmente la possibilità di slittamenti assiali, nonostante tutti gli accoppiamenti interessati avvengano per interferenza. Ciò è stato stabilito a vantaggio di sicurezza.

In tab. 3.8 sono riportati i parametri necessari al loro impiego.

### 3.3.5 Dimensionamento delle braccia di supporto, relativi perni e saldature

Al fine di garantire che durante la totalità delle fasi di apertura e chiusura la parete frontale rimanga sempre perfettamente verticale, si è deciso di aggiungere due braccia di supporto posizionate in maniera

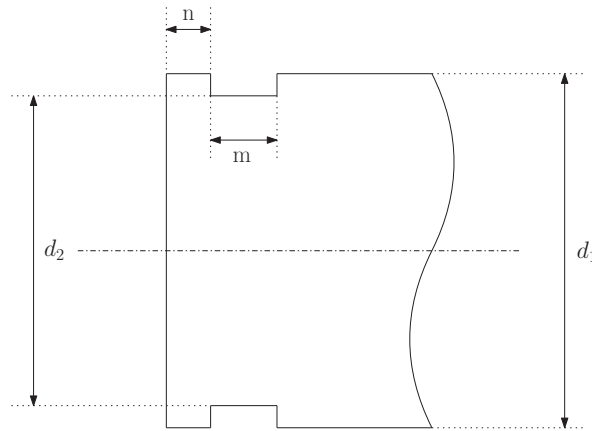


Figura 3.34: Esempio di cava per seeger.

Perno [ ]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$m$ (H13) [mm]	$n_{min}$ [mm]
br-sar	25	23.9	1.3	1.7
br-par	10	9.6	1.1	0.6
cil-*	12	11.5	1.1	0.9
mol-*	14	13.4	1.1	0.8

Tabella 3.8: Elenco dei parametri per l'impiego di seeger DIN 471.

tale da non interferire con il moto delle principali o con l'ingombro legato alla presenza degli attuatori.

La geometria di base è rimasta quindi inalterata (sottosezione 3.3.1): la lunghezza è pari a  $403\text{ mm}$  ed i perni di attacco manterranno le stesse coordinate di quelli delle braccia principali, se non per un abbassamento lungo la verticale di  $40\text{ mm}$ .

Per quanto riguarda il dimensionamento della loro sezione, per come sono state definite esse non saranno mai soggette a carichi, se non a delle oscillazioni di lieve entità in apertura o chiusura. Si è deciso, di conseguenza, di dimensionare le braccia come se dovessero sostenere a compressione un carico di entità pari a metà della forza peso, ossia  $564.075\text{ N}$ . La tensione a cui risultano soggette sarà quindi pari a:

$$\sigma = \frac{F}{bh} = 7.5\text{ MPa} \quad (3.25)$$

imponendo che  $b = 5\text{ mm}$  e  $h = 15\text{ mm}$ . Questi valori sono stati scelti basandosi sulle dimensioni dei perni e delle boccole (sottosezione 3.3.6). Inoltre, il rapporto altezza/base non è stato mantenuto pari a 2 poiché vi è assenza di momenti flettenti agenti lungo il lato lungo. Il coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la tensione di snervamento del materiale (per uniformità: AISI 304L,  $\sigma_{sn} = 205\text{ MPa}$ ) e quella ottenuta, risulta pari a  $C_s = 27.3$ , da cui si possono considerare valide le supposizioni effettuate.

Essendo la trave dimensionata a compressione, valutarne le deformazioni assiali risulterebbe insensato: già di per sé esse sono trascurabili rispetto a quelle trasversali, per ipotesi assenti, ed inoltre il carico applicato è limitato.

In fig. 3.35 è mostrato il CAD delle braccia appena progettate: i fori presenti sono dovuti all'inserimento delle boccole (sottosezione 3.3.6).



Figura 3.35: CAD delle braccia di supporto.

Definito ciò, è possibile passare al dimensionamento dei perni per la connessione alla parete frontale ed al resto del sarcofago, per conformità dello stesso materiale di tutti gli altri, ossia AISI 304L: le forze a cui risultano sopposti, per ipotesi di lavoro, sono le stesse, in particolare pari ad  $F = 564.075 \text{ N}$ , scaricate radialmente. L'approccio è lo stesso impiegato per tutti gli altri perni saldati, come descritto nella sottosezione 3.3.4.

In tab. 3.9 sono riportati i parametri ottenuti per questo caso.

$l_u$ [mm]	$M_f$ [Nmm]	$d_{min}$ [mm]	$d$ [mm]
4.5	2538.34	5.95	10

Tabella 3.9: Parametri dei perni per le braccia di supporto.

Il valore di  $l_u$  è pari alla somma tra la distanza tra braccio di supporto e sarcofago ( $2 \text{ mm}$ ) e metà dello spessore dello stesso ( $5 \text{ mm}$ ). Il diametro scelto pari a  $10 \text{ mm}$  è stato scelto per ridurre la dimensione di saldatura.

In fig. 3.36 è mostrato il CAD realizzato per questi perni.

Anche in questo caso, l'estremo destro è stato ristretto, sempre rispettando i vincoli minimi, fino a  $5 \text{ mm}$  al fine di essere inserito all'interno della boccola scelta per l'accoppiamento. A tal proposito, per far sì che esso presenti del gioco, la tolleranza scelta per questo diametro è pari a g6.

Infine, per evitare scorrimenti assiali, la stessa estremità è stata allungata in maniera tale da poter realizzare la cava in cui inserire



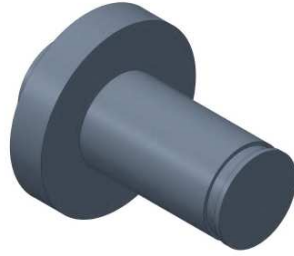


Figura 3.36: CAD dei perni per le braccia di supporto.

un seeger DIN 471: i parametri necessari sono riportati in tab. 3.10, tenendo sempre come riferimento fig. 3.34.

$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$m$ (H13) [mm]	$n_{min}$ [mm]
5	4.8	0.7	0.3

Tabella 3.10: Elenco dei parametri per l'impiego di seeger DIN 471.

Definito ciò è possibile passare al calcolo dell'altezza di saldatura: anche per questo, il procedimento è del tutto analogo a quello mostrato per gli altri perni nella sottosezione 3.3.4. In tab. 3.11 sono riportati i risultati.

$r$ [mm]	$A_u$ [mm <sup>2</sup> ]	$J_u$ [mm <sup>4</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]	$b_{min}$ [mm]	$h_{min}$ [mm]
5	31.42	392.70	50.27	0.98	1.39

Tabella 3.11: Altezze di saldatura minime per ciascun perno.

Come per gli altri perni, l'altezza di saldatura viene arrotondata per eccesso al mezzo o all'unità più prossima.

Inoltre, per garantire un posizionamento preciso è stata aggiunta, anche in questo caso, l'estrusione cossiale sul retro del perno, di diametro 5 mm e lunghezza 2 mm (3.30).

### 3.3.6 Scelta dei cuscinetti a sfera e delle boccole

In questa sottosezione si descriverà il processo di scelta dei cuscinetti a sfera, utilizzate per l'interfacciamento delle braccia principali ai relativi perni saldati sulle parti del sarcofago, e delle boccole, utilizzate in maniera analoga ma per le braccia di supporto.

In particolare, i cuscinetti a sfera sono stati dimensionati solo staticamente: sotto indicazioni di SKF, se la velocità di rotazione alla quale il cuscinetto è sottoposto è inferiore ai 10 rpm, non è necessario effettuare la verifica a fatica. Questa condizione si verifica anche nel caso di utilizzo in questione: infatti, la velocità di apertura/chiusura è strettamente legata a quanto verrà stretta la valvola di regolazione

unidirezionale usata nei cilindri e, data l'assenza di vincoli temporali, si può andare a velocità contenuta a desiderio.

Nel caso di forze assiali nulle, il coefficiente di sicurezza statico di un cuscinetto è dato dalla relazione

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} \quad (3.26)$$

dove:

- $C_0$  è il carico statico (N) massimo ammesso dal cuscinetto;
- $P_0$  è il carico (N) realmente applicato sul cuscinetto.

Per quanto riguarda il perno tra braccio e sarcofago, a causa del fatto che su di esso sono scaricati anche dei momenti, seguendo i consigli del manuale SKF, si è deciso di utilizzare un cuscinetto a sfere a doppia corona (fig. 3.37), il cui codice prodotto dal catalogo SKF è **4205 ATN9**, dove:

- *4205* identifica il particolare prodotto all'interno della famiglia;
- *A* indica il design interno modificato o con scostamenti;
- *TN9* indica che la gabbia è realizzata in PA66 rinforzata con fibra di vetro e centrata sulle sfere.



Figura 3.37: Cuscinetto a sfere a due corone **4205 ATN9**.

In appendice [C.11](#) è riportato il catalogo del componente.

In appendice [A.4](#) sono riportati i valori delle reazioni vincolari che vengono scaricate su perno al variare dell'angolo di rotazione: il valore massimo per la forza radiale si ottiene quando il sistema risulta completamente aperto in salita, combinando con *Pitagora* le due componenti lungo l'asse *x* e l'asse *z*. Inoltre è necessario verificare che l'angolo di inclinazione dell'estremo perno equivalente di lunghezza utile non sia superiore, per questi cuscinetti, ai  $2 \text{ arcmin}$  ( $1 \text{ rad} = \frac{180 \cdot 60}{\pi} \text{ arcmin}$ ).

In tab. [3.12](#) sono riportati i risultati sotto queste condizioni, mentre in tab. [3.13](#) i parametri dimensionali associati.

$P_0$ [N]	$C_0$ [kN]	$s_0$ []	$\theta$ [arcmin]
3994.03	14.6	3.66	1.17

Tabella 3.12: Verifica statica del cuscinetto a sfere a due corone scelto.

d [mm]	D [mm]	B [mm]	$d_{sp,int}$ [mm]	$d_{sp,ext}$ [mm]	$r_{rac}$ [mm]
25	52	18	31	46.4 (max)	1 (max)

Tabella 3.13: Dimensioni del cuscinetto a sfere a due corone scelto.

Al fine di essere sicuri che il sistema resista anche la presenza dei momenti, il coefficiente di sicurezza statico minimo deve essere  $> 3$ , come nel caso in questione.

Il valore  $d_{sp,int}$  indica quanto deve essere lo spallamento dal lato del perno, mentre  $d_{sp,ext}$  indica il diametro del sostegnoda inserire per mantenere in sede la struttura, da cui il restringimento da un lato del foro fatto sulle braccia (fig. 3.24).

Infine, per avere un accoppiamento per interferenza nel foro di alloggiamento, il diametro di questo deve avere una classe di tolleranza P6.



Figura 3.38: Cuscinetto a sfere a singola corona 61900.

Passando ora al perno tra braccio e parete frontale, non ci sono condizioni particolari come nel caso precedente: di fatto il sistema si può considerare come un sistema costituito da una trave a sezione variabile (parete frontale e perni) posta in doppio appoggio sui due cuscinetti delle braccia. Il cuscinetto a sfere scelto per questa condizione è a singola corona (fig. 3.38), il cui codice prodotto dal catalogo SKF è **61900**, dove questo numero identifica la forma base di una particolare famiglia di cuscinetti.

In appendice C.12 è riportato il catalogo del componente.

In tab. 3.13 sono riportati i risultati della verifica statica effettuata: in particolare, in questo caso, è necessario che  $s_0 > 2$ .

Per la verifica dell'angolo d'inclinazione, si è usato il software di simulazione SKF SimPro Quick 4.4, essendo l'approccio analitico utilizzabile quando la sezione di una trave risulta variabile poco accurato.

$P_0$ [N]	$C_0$ [kN]	$s_0$ [°]
564.075	1.27	2.25

Tabella 3.14: Verifica statica del cuscinetto a sfere a singola corona scelto.

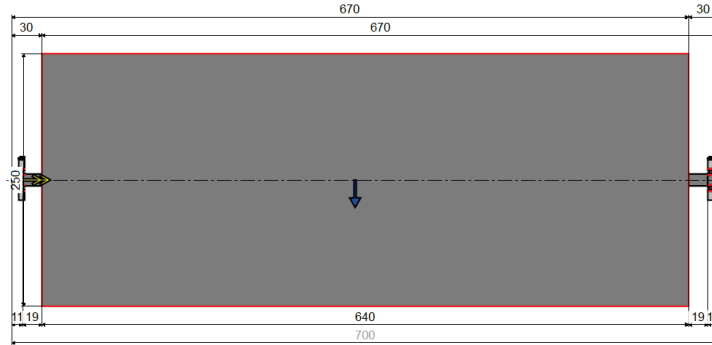


Figura 3.39: Sistema equivalente usato per la verifica dell'angolo di inclinazione.

In fig. 3.39 è mostrato il sistema equivalente utilizzato. Essendo necessario l'utilizzo di alberi a sezione circolare, si è ricavato un diametro equivalente tramite la relazione di equivalenza tra momenti geometrici del secondo ordine:

$$\frac{\pi}{64}d^4 = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3) \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi 12}(BH^3 - bh^3)} = 251.92 \text{ mm} \quad (3.27)$$

In questa equazione:

- $B = 30 \text{ mm}$  è base della sezione esterna della parete frontale;
- $H = 600 \text{ mm}$  è altezza della sezione esterna della parete frontale;
- $b = 20 \text{ mm}$  è base della sezione cava della parete frontale;
- $h = 590 \text{ mm}$  è altezza della sezione cava della parete frontale.

I valori appena elencati verranno affrontati nel dettaglio e discussi nella sottosezione 3.4.2.

Oltre all'aggiunta dei cuscinetti, per svolgere la simulazione è anche necessario aggiungere la forza peso dell'intera parete, ossia 1128.15 N. L'esito non fornisce l'inclinazione effettiva, ma solamente che rispetta quella limite dei cuscinetti, pari a 10 *arcmin*.

In tab. 3.15 sono riportati i parametri dimensionali del cuscinetto utilizzato.

d [mm]	D [mm]	B [mm]	$d_{sp,int}$ [mm]	$d_{sp,ext}$ [mm]	$r_{rac}$ [mm]
10	22	6	12	20 (max)	0.3 (max)

Tabella 3.15: Dimensioni del cuscinetto a sfere a singola corona scelto.

Per avere un accoppiamento per interferenza, la tolleranza del foro in cui verrà collocato deve essere P6.

Infine, per un funzionamento corretto dei cuscinetti a sfera appena scelti, è necessario scegliere un lubrificante: tramite il software di supporto Lub Select di SKF è emerso che il lubrificante migliore per la temperatura di utilizzo (20° C) e la velocità di rotazione ( $< 10 \text{ rpm}$ ) è il grasso per carichi pesanti **LGFQ2**.



Figura 3.40: Boccole **JBHD5-5**.

Ultime, ma non meno importanti, sono le boccole in lega di rame (fig. 3.40), che verranno utilizzate per l'interfacciamento tra le braccia di supporto e i relativi perni. Date le ipotesi di lavoro, queste non saranno mai caricate, da cui non è necessaria la verifica statica. Il codice delle boccole scelte è **JBHD5-5** del costruttore MISUMI, dove:

- *JBHD* indica la famiglia di boccole scelta;
- il primo 5 indica il diametro interno;
- il secondo 5 la lunghezza della porzione di boccola da inserire nel foro del braccio.

In appendice C.13 è riportato il catalogo del componente.

d [mm]	D [mm]	l [mm]
5	10	5

Tabella 3.16: Parametri dimensionali delle boccole.

In tab. 3.16 sono riportati i parametri dimensionali per le boccole scelte.

Il foro nel braccio deve essere quindi di dimensione pari al diametro esterno  $D$ . Per avere un accoppiamento per interferenza tra i due, la tolleranza scelta per l'alloggiamento è H7.

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DEL NUOVO SARCOFAGO

In questa sezione si affronterà lo studio del nuovo sarcofago per essere adatto all'applicazione finora descritta: si illustrerà brevemente la struttura del precedente, per poi presentare le diverse modifiche implementate.

#### 3.4.1 *Lo stato dell'arte*

In fig. 3.41 è riportato il CAD del sarcofago attualmente in uso.



Figura 3.41: CAD del sarcofago attuale.

Esso è costituito da una struttura a strati (fig. 3.42): esso prevede l'impiego di due lamiere, lavorate e saldate tra loro, di spessore  $5\text{ mm}$  in acciaio S235 in maniera tale da creare una gabbia in grado di contenere cinque lastre da  $5\text{ mm}$  di piombo, necessario per schermare le radiazioni ionizzanti provenienti dalla TIS contenuta al suo interno. Una volta posizionate su una base in acciaio, le singole pareti sono saldate tra loro, al fine di garantire la tenuta del peso proprio. Questa struttura di supporto è necessaria in quanto il piombo non presenta proprietà strutturali.

Inoltre esso è dotato di un coperchio rimovibile, al fine di consentire l'inserimento della TIS previo prelievo dal FE o dal TSS, o viceversa.

Le sue dimensioni sono  $620 \times 530 \times 575\text{ mm}$  ( $w \times l \times h$ ): è possibile osservare, spostando la vista del sarcofago dall'alto (fig. 3.43), come l'interfaccia di presa non sia centrata. Ciò è dovuto al fatto che, al fine di contenere gli ingombri, non è stato possibile centrare la TIS all'interno del sarcofago. Inoltre, essa presenta una struttura asimme-

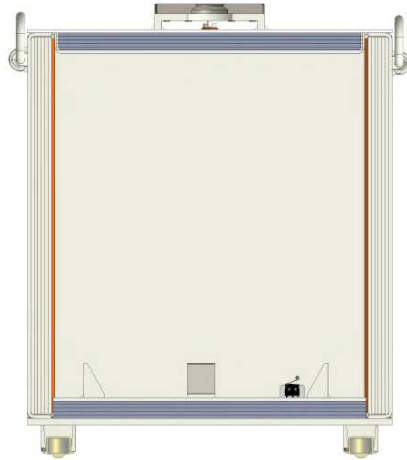


Figura 3.42: CAD di una sezione del sarcofago attuale.

trica e data la necessità di avere l'attacco allineato con il coperchio si è arrivati alla situazione appena descritta.

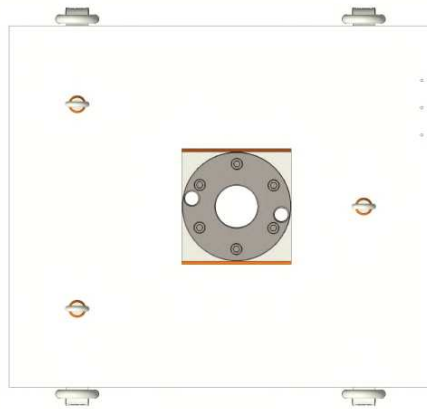


Figura 3.43: CAD della vista dall'alto del sarcofago attuale.

Alcune criticità verranno risolte durante progettazione del sarcofago usato per il trasferimento in Hot Cell:

- progettazione di una parete frontale apribile;
- allineamento delle due interfacce di presa di TIS e coperchio all'asse baricentrico;
- predisposizione del sarcofago ad una futura implementazione del sistema di movimentazione orizzontale;
- aggiunta di un telaio per aumentare le scarse proprietà strutturali del sistema;
- aggiunta di un supporto per evitare di scaricare le forze degli attuatori sulla lamiera di acciaio;

- aggiunta di una guarnizione tra la parete frontale apribile e il resto del sarcofago.

#### 3.4.2 Dimensionamento della struttura principale

In questa sottosezione si tratterà la parte di definizione delle dimensioni complessive e dell'aggiunta di un telaio strutturale.

In primo luogo, si è stabilito di avere uno spessore complessivo delle singole pareti pari a  $30\text{ mm}$ , riducendo, di conseguenza, il numero delle lastre di piombo da cinque a quattro: questa scelta è stata effettuata in ottica di ridurre l'ingombro delle singole pareti per guadagnare margine rispetto alle dimensioni massime.

Infatti, al fine di centrare le due flange di attacco all'asse baricentrico del coperchio e di lasciare circa  $10\text{ mm}$  di margine dalle pareti a cui la TIS si sarebbe trovata più a ridosso, si è stimato che, mantenendo i  $35\text{ mm}$  di spessore, sarebbe stato necessario allargare il sistema di  $30\text{ mm}$  ed allungarlo di  $20\text{ mm}$ : ciò, dato l'ingombro delle braccia e degli attuatori, in particolare dei cilindri pneumatici, avrebbe lasciato all'incirca  $5\text{ mm}$  di margine rispetto alla dimensione massima laterale, pari a  $800\text{ mm}$ . Dato che il posizionamento del sistema per mezzo del carrello, soprattutto se manuale, può risultare più impreciso, si era prefissato di tenere almeno  $10\text{ mm}$  di margine, da cui il ridurre il quantitativo delle lastre di piombo da cinque a quattro.

Da queste considerazioni, larghezza e lunghezza del sarcofago sono passate a  $640 \times 540\text{ mm}$ , aumentando di conseguenza le dimensioni di rispettivamente  $20$  e  $10\text{ mm}$ .

In fig. 3.44 è mostrato il coperchio modificato: la struttura di base è la medesima di quello attuale, ma le dimensioni sono state alterate come appena descritto. Inoltre, per omogeneità, è stata sostituita la precedente flangia Schunk con quella usata nel TSS: in esso, questo attacco solleva un coperchio pesante poco più di  $100\text{ kg}$  di simil struttura ed essendo che quello del nuovo sarcofago ne pesa all'incirca  $85\text{ kg}$ , la sostituzione è lecita. Infine, le aree di forma quadrata smusata rimosse servono per consentire ai montanti del telaio, descritto nei paragrafi successivi, di essere disponibili per la connessione con i golfari per il sollevamento.



Figura 3.44: CAD del coperchio del nuovo sarcofago (con sezione).

Per dare margine alla realizzazione della movimentazione orizzon-



tale, si è deciso di aumentare l'altezza complessiva del sistema di  $25\text{ mm}$ , arrivando sino a  $600\text{ mm}$ : unito alla riduzione dello spessore delle pareti di  $5\text{ mm}$ , ciò comporta ad un aumento dello spazio utile di ben  $35\text{ mm}$ , il quale dovrebbe garantire la possibilità di aggiungere possibili sistemi di scorrimento, come sfere o rulli. Se comunque ciò non dovesse rivelarsi sufficiente, si può valutare di alterare la geometria della parete alla base rimuovendo porzioni di piombo.

Dato che una delle pareti, in particolare quella frontale, deve diventare apribile per mezzo del meccanismo a pantografo discusso in precedenza, il coperchio non può coprire anche la stessa, poiché ne impedirebbe il movimento: la lunghezza complessiva del sarcofago, quindi, verrà allungata di altri  $30\text{ mm}$  per l'aggiunta in appoggio della faccia frontale, passando in totale a  $570\text{ mm}$ .

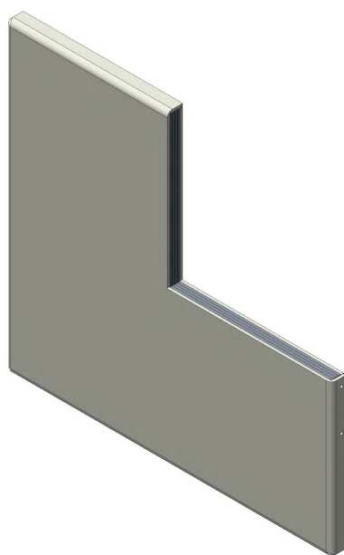


Figura 3.45: CAD della parete frontale del nuovo sarcofago (con sezione).

In fig. 3.45 è mostrata la parete frontale apribile: come per il coperchio, la struttura di base rispecchia quella delle pareti del sarcofago attuale, ma le dimensioni sono state alterate come appena definito. L'unica differenza sono i fori per il posizionamento dei perni da saldare, con asse posizionato orizzontalmente a  $20\text{ mm}$  dalla parte anteriore per via della piega della lamiera di acciaio.

La rimozione di una parete dal sistema saldato porta ad un calo delle già basse capacità di carico della struttura. Aggiungendo a questo la presenza di reazioni vincolari scaricate dai perni sulle lamiere attraverso le saldature, si è stabilito di inserire un telaio di supporto, costituito da travi in acciaio piene saldate tra loro tramite degli smussi da  $5\text{ mm}$  per garantire la maggior continuità strutturale possibile e garantire un minimo effetto schermante anche nelle parti dove, a causa della sua presenza, verranno a mancare le lastre di piombo.

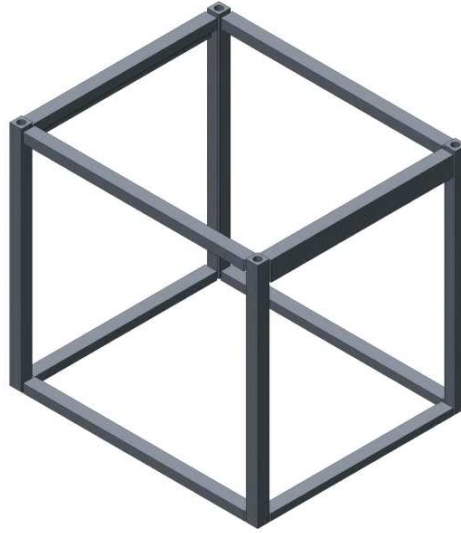


Figura 3.46: CAD del telaio del nuovo sarcofago.

In fig. 3.46 è mostrata la struttura implementata: la sezione delle travi prevede sempre che almeno una delle due dimensioni sia di  $30\text{ mm}$ , per rispecchiare lo spessore delle pareti scelto, mentre l'altra è stata adattata, calando di  $5$  o  $10\text{ mm}$  in base alle esigenze e per evitare interferenza tra le varie saldature di testa o d'angolo che verranno poi effettuate per unificare il tutto.



Figura 3.47: CAD del traverso superiore laterale del telaio.

L'unica trave ad avere una sezione particolare, diversa da quella rettangolare, è quella dei due traversi superiori laterali (fig. 3.47). Essa è dovuta a due necessità:

- la prima consiste nel far sì che il perno di connessione tra braccio e sarcofago cada sul telaio, al fine di avere una struttura di appoggio solida e non una semplice lamiera da  $5\text{ mm}$ . A tal scopo, l'altezza della sezione dovrebbe essere stata pari a  $50\text{ mm}$ ;
- la seconda consiste nel mantenere la presenza delle lastre di piombo per mantenere continuità di schermatura. L'altezza del-

la sezione dovrebbe però essere di soli  $25\text{ mm}$ .

Come compromesso, quindi, si è deciso di realizzare la trave con una sezione di  $30 \times 50\text{ mm}$ , scavata per una sezione di  $15 \times 25\text{ mm}$  nella parte interna: in questo modo il perno ha comunque una struttura solida su cui scaricare forze e momenti ed al tempo stesso garantire comunque lo spazio per inserire 2 lastre di piombo.



Figura 3.48: CAD della struttura fissa del nuovo sarcofago.

Una volta completato, il telaio verrà collocato e saldato con saldature d'angolo (all'interno) e di testa (all'esterno) su una base di dimensioni  $640 \times 540 \times 10\text{ mm}$ . In fig. 3.48 è mostrata la porzione fissa del nuovo sarcofago: le singole pareti sono costituite da due lamiere di acciaio, con degli smussi da  $5\text{ mm}$  ai quattro spigoli per consentire una saldatura di testa al telaio (fatta eccezione della base, dove tre saldature su quattro sono d'angolo alle pareti), contenenti al loro interno quattro lastre di piombo, visibili tramite la sezione in fig. 3.49.

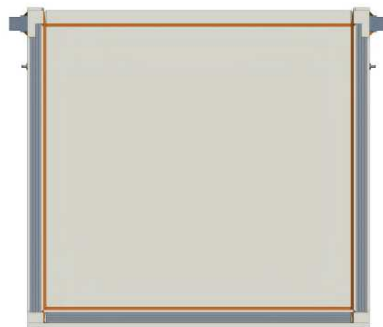


Figura 3.49: CAD della sezione delle pareti del nuovo sarcofago.

Nelle figure appena illustrate è possibile osservare anche la presenza sulla lamiera dei perni per il braccio di supporto: essi possono essere saldati qui poiché, per le ipotesi di lavoro fatte in precedenza,

scaricheranno sulla lamiera sforzi di entità trascurabile.

Data la complessità della struttura, fare delle verifiche strutturali per via analitica degli effetti di forze e momenti scaricati dal perno di connessione con il braccio sul telaio risulta praticamente impossibile: si rimanda di conseguenze alle simulazioni agli elementi finiti effettuate per mezzo di Ansys.

Sia in fig. 3.46 che 3.48 è possibile osservare che i traversi superiori sono posizionati leggermente più in basso rispetto all'estremità dei montanti, in particolare di 5 mm. Ciò è dovuto alla necessità di sollevare l'intero sistema, senza rimuovere il coperchio e recare fastidio alla parete frontale, per mezzo di golfari (fig. 3.50) da avvitare sui montanti stessi. Per l'applicazione in questione sono stati scelti i golfari zincati normati dalla DIN580 di taglia M20.



Figura 3.50: Golfare zincato.

In appendice C.14 è riportato il catalogo dei golfari dell'azienda FAS, dove è indicato che per l'applicazione in questione, ossia con quattro golfari orientati opportunamente e con inclinazione delle fasce per il sollevamento compresa tra  $0^\circ$  e  $45^\circ$ , la capacità di carico è di 1800 kg: essendo il peso del sistema complessivo circa 620 kg, si ha un coefficiente di sicurezza circa pari a 3.

Per verificare la tenuta dei montanti durante il sollevamento è opportuno scomporre le forze in componenti: ciascun montante subisce una forza di trazione pari all' $\frac{1}{4}$  del peso, ossia 1520.55 N, e una forza posizionata lungo la diagonale della sezione quadrata del montante della stessa intensità. Quest'ultima si può scomporre, dividendola per  $\sqrt{2}$ , lungo i due traversi superiori a cui si interfaccia ogni singolo montante (fig. 3.51).

Ciò implica che ciascun traverso sarà sottoposto da una forza di compressione di 1075.19 N: dato che la sezione minima dei traversi superiori è 30x25 mm, la deformazione percentuale degli stessi è  $1.81 \times 10^{-5}\%$ . Grazie a ciò, il montante non subisce tensioni e deformazioni dovuti ai momenti flettenti che sarebbero nati rispetto all'attacco alla base.

Le ultime cose da verificare sono la tenuta a trazione verticale del montante, il taglio causato dall'unione bullonata sulla sezione ed infine il possibile rifollamento del foro: rispettivamente, le equazioni da

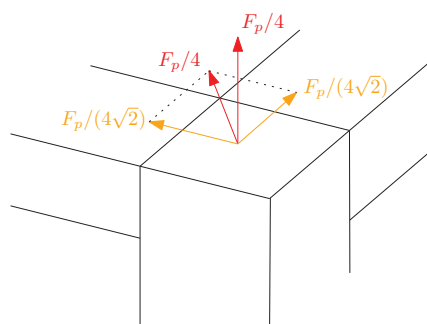


Figura 3.51: Forze scaricate sul telaio durante il sollevamento con i golfari.

usare sono 3.25, 3.22 e 3.23. Nelle ultime due è necessario aggiustare dei parametri:

- $b \rightarrow l_f$ , corrispondente ossia alla profondità del foro;
- $l \rightarrow b = h$ , corrispondente alla base della sezione del montante.

Le tensioni risultanti sono riassunte in tab. 3.17: rispetto alla tensione di snervamento dell'acciaio S235 di cui è costituito il telaio, esse sono di ben due ordini di grandezza più piccole, quindi il sistema risulta verificato.

$l_f$ [mm]	d [mm]	$\tau_n$ [MPa]	$\tau_{tg}$ [MPa]	$\tau_{rif}$ [MPa]
30	20	2.60	3.58	1.79

Tabella 3.17: Tensioni di sollecitazione del montante in sollevamento con i golfari.

Infine, in fig. 3.48 si può osservare la presenza di un'estensione della piastra di base a lato del sarcofago: essa consiste nella base di appoggio per i supporti laterali, che verranno approfonditi nella successiva sottosezione.

### 3.4.3 Aggiunta di un supporto laterale per i perni

In questa sottosezione si dimensionerà la struttura laterale di supporto al fine di evitare che i perni di connessione tra gli attuatori ed il sarcofago scarichino forze e momenti importanti sulla lamiera della parete. Una possibile alternativa sarebbe potuta essere quella di sacrificare parte della schermatura e modificare la forma dei traversi inferiori laterali, ma è stato reputato inaccettabile.

In primo luogo si è definita la geometria del supporto (fig. 3.52): si è considerata una piastra di acciaio AISI 304L a sezione rettangolare di spessore  $s$ , altezza utile  $h$  e lunghezza  $l$ , incastrata sulla base del sarcofago. In particolare, tra questi, l'unico parametro vincolato è il secondo in quanto corrisponde all'altezza dalla base del punto di

attacco del perno di connessione, mentre gli altri possono essere adattati alle esigenze, rispettando un compromesso tra ingombro e rigidità. Il posizionamento dal punto di vista orizzontale, invece, dipende dalla distanza a cui vanno collocati dal lato posteriore del sarcofago al fine di avere, nella posizione di riposo, gli attuatori perfettamente verticali.

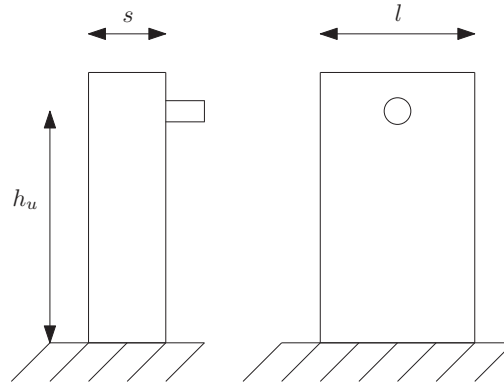


Figura 3.52: Geometria della piastra di supporto.

In corrispondenza dell'altezza utile verranno scaricati la forza ed il momento flettente sollecitanti i perni: il caso peggiore è stato stimato essere il momento in cui gli attuatori sono perfettamente verticali. Ciò è lecito per due motivi:

- l'angolo di inclinazione rispetto alla verticale durante l'apertura è tale da generare delle componenti di forze/momenti orizzontali di almeno un ordine di grandezza più piccoli rispetto a quelle verticali;
- il momento geometrico del secondo ordine della sezione della piastra di supporto è, in ambo i casi, di entità maggiore per le componenti orizzontali, riducendone ancora di più gli effetti.

Per poter proseguire con l'analisi, è necessario collocarsi sull'asse neutro delle piastre, per cui i momenti flettenti effettivamente riportati sono:

$$M_{f,sup} = M_{f,prn} + F_{att} \frac{s}{2} \quad (3.28)$$

In tab. 3.18 sono riportati i parametri definiti finora per le due piastre.

Perno [ ]	$h_u$ [mm]	$s$ [mm]	$l$ [mm]	$F_s$ [N]	$M_f$ [Nmm]
Cil	34	20	30	754	24128
Mol	154	20	50	3200	107200

Tabella 3.18: Parametri dimensionali e sforzi scaricati sulle piastre di supporto.

Definito il tutto, è possibile passare al calcolo delle tensioni e delle deformazioni, sfruttando, rispettivamente, le equazioni già illustrate in 3.13 e 3.15, con alcune leggere modifiche:

- $b \rightarrow s$ , spessore della piastra;
- $l \rightarrow h$ , altezza della piastra;
- $h \rightarrow l$ , lunghezza della piastra.

Il modulo elastico e la tensione di snervamento sono quelli dell'acciaio AISI 304L, rispettivamente pari a  $E = 190 \text{ GPa}$  e  $\sigma_{sn} = 205 \text{ MPa}$ . Le tensioni, le deformazioni e gli angoli di inclinazione risultanti per le due piastre sono riportate in tab. 3.19.

Perno []	$\sigma$ [MPa]	$C_s$ []	$\eta$ [mm]	$\phi$ [rad]	$\eta_{prn,agg}$ [mm]
Cil	13.32	15.39	$5.38 \times 10^{-6}$	0.00019	0.0062
Mol	35.36	5.80	0.19	0.00085	0.0284

Tabella 3.19: Parametri dimensionali e sforzi scaricati sulle piastre di supporto.

Si osserva che i coefficienti di sicurezza statici garantiscono la tenuta del sistema e, inoltre, le rotazioni dell'estremo che si tramutano in deformazioni aggiuntive del perno sono di entità trascurabile, mantenendo validi tutti i ragionamenti fatti in fase di dimensionamento degli stessi.

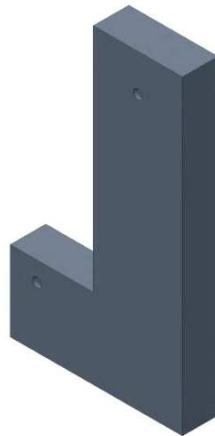


Figura 3.53: CAD della piastra di supporto per i perni.

In fig. 3.53 è riportato il CAD di un'unica piastra di supporto per entrambi i perni: ciò è stato deciso per dare ulteriore solidità alla struttura a garantire la possibilità di lavorare un pezzo unico. Esso presenta una lunghezza complessiva di  $96.5 \text{ mm}$  e posizionata a  $276.5 \text{ mm}$  dal retro del sarcofago al fine di garantire il corretto posizionamento

dei perni, per avere gli attuatori perfettamente verticali nella posizione di riposo.

Sempre in figura è possibile osservare anche la presenza dei fori di centraggio per il corretto inserimento dei perni.

Prima di calcolare le saldature per fissare le piastre, è necessario verificare che le estrusioni aggiunte ai lati della base del sarcofago (fig. 3.48) siano sufficienti a sostenere gli sforzi scaricati quando il sistema è sollevato per mezzo dei golfari: durante questa fase il sistema non sarà appoggiato al carrello e l'unica forza (e derivati) che rimarrà scaricata, essendo il cilindro scarico, sarà solo quella della molla.

In particolare, le estrusioni sono caratterizzati da un'altezza di 10 mm, uno spessore di 23.5 mm ed una lunghezza di 103.5. Gli ultimi due parametri sono i medesimi della piastra sovrastante, ma aumentati di un multiplo di 3.5 mm che sarà l'altezza di saldatura ad angolo che verrà richiesta (approccio ricorsivo).

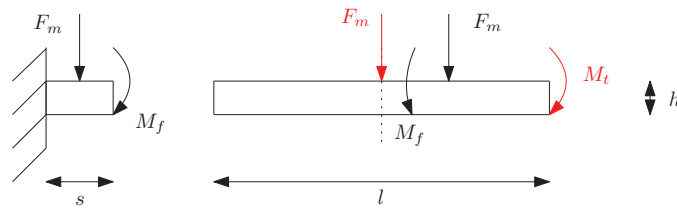


Figura 3.54: Geometria dell'estrusione della base e forze/momenti presenti.

In fig. 3.54 è mostrata la geometria dell'estrusione della base. Sono riportati, inoltre, la forza della molla, posizionata a 28.5 mm dall'estremo dell'estrusione (25 mm è la distanza dell'asse del perno dalla piastra sovrastante, 3.5 mm l'aumento dimensionale per la presenza di saldature) ed il momento flettente causato dalla stessa, calcolati precedentemente in tab. 3.18.

Essendo che la forza è posta ad una distanza pari a  $\frac{103.5}{2} - 28.5 = 23.25$  mm dall'asse neutro, è possibile sostituirla con la combinazione della stessa posizionata sull'asse ed un momento torcente  $M_t = F_m d_{ass} = 74400$  Nmm.

Per il calcolo delle tensioni e delle deformazioni è possibile, ancora una volta, fare riferimento alle equazioni 3.13 e 3.15, modificando:

- $l \rightarrow s$ , spessore dell'estrusione;
- $b \rightarrow l$ , lunghezza dell'estrusione;
- $\alpha = \beta = 3.44$ , essendo il rapporto  $L/t = 5$ .

Sulla base di quanto già visto, il massimo delle tensioni si otterrà a metà del lato lungo della piastra data la combinazione degli effetti del momento flettente e di quello torcente. Ricordando che il materiale della base è l'acciaio S235, in tab. 3.20 sono riportate le tensioni, mentre in tab. 3.21 le deformazione e la rotazione dell'estremo, per comprenderne l'effetto sull'inclinazione finale del perno.



$\sigma_n$ [MPa]	$\tau_t$ [MPa]	$\sigma_{eq,vm}$ [MPa]	$C_s$ []
62.14	24.73	75.47	3.11

Tabella 3.20: Tensioni sull'estrusione della base.

$\eta$ [mm]	$\phi$ [rad]	$\eta_{prn,agg}$ [mm]
0.053	0.0016	0,11

Tabella 3.21: Deformazioni dell'estrusione della base.

Il sistema, dato il coefficiente di sicurezza  $C_s$ , dovrebbe garantire solidità durante il trasporto, mentre la deformazione aggiuntiva al perno è quella più importante tra tutte quelle viste finora, ma comunque di piccola entità rispetto alle dimensioni in gioco, essendo dell'ordine del decimo di millimetro.

Assodato il tutto, è possibile appoggiare le piastre di supporto sulle estrusioni della base, ed alla parete del sarcofago, e passare al calcolo delle saldature ad angolo [12], da effettuare lungo i tre spigoli esposti, per apporto di AISI 304L.

In analogia a quanto già fatto nella sottosezione 3.3.4, è necessario introdurre i seguenti parametri:

- $l_x = 96.5 \text{ mm}$ , lunghezza del cordone di saldatura lungo il lato lungo;
- $l_y = 20 \text{ mm}$ , lunghezza del cordone di saldatura lungo i due lati corti;
- $r_x = \frac{l_x}{2} = 48.25 \text{ mm}$ , distanza degli estremi dei cordoni dal baricentro di saldatura (*asse x*);
- $r_y = \frac{l_x^2}{l_x + 2l_y} = 2.93 \text{ mm}$ , distanza degli estremi dei cordoni dal baricentro di saldatura (*asse y*);
- $I_{x,u} = \frac{2}{3}l_y^3 - \frac{l_y^4}{l_x + 2l_y} = 4161.17 \text{ mm}^4$ , momento geometrico del secondo ordine unitario lungo l'asse *x* dei cordoni di saldatura;
- $I_{y,u} = \frac{l_x^2}{12} (l_x + 6l_y) = 168008.51 \text{ mm}^4$ , momento geometrico del secondo ordine unitario lungo l'asse *y* dei cordoni di saldatura.

Il sistema di riferimento su cui si basa la descrizione dei parametri è un sistema fittizio con l'asse *x* posto lungo il lato lungo dell'estrusione e l'asse *y* lungo uno dei due corti.

Definito ciò è possibile calcolare le tensioni di taglio primario e secondario unitarie per poi ricavare l'altezza di saldatura:

$$\begin{cases} \tau'_u = \frac{F_c + F_m}{l_x + 2l_y} \\ \tau''_u = \frac{M_f}{I_{x,u}} r_y + \frac{M_t}{I_{y,u}} r_x \end{cases} \quad (3.29)$$

in cui:

- $M_f = M_{f,c} + M_{f,m} - (F_c + F_m) \left( \frac{s_{sup}}{2} - r_y \right)$ , momento flettente riportato al baricentro della saldatura;
- $M_t = M_{t,m} - F_c d_{ass}$ , momento torcente riportato al baricentro della saldatura;
- $s_{sup} = 20 \text{ mm}$  è lo spessore della piastra di supporto;
- $d_{ass} = \frac{103.5}{2} - 18.5 \text{ mm}$  distanza del punto di applicazione della forza del cilindro dall'asse baricentrico dell'estrusione della base.

Si ricorda che, essendo il materiale apportato l'AISI 304L,  $\tau_{amm} = \frac{\sigma_{sn}}{4} = 51.25 \text{ MPa}$ . In tab. 3.22 sono riportati i risultati, tra cui l'altezza di saldatura minima: il valore effettivamente impiegato sarà pari a quello trovato arrotondato per eccesso al mezzo o all'unità più prossima.

$\tau'_u$ [MPa]	$\tau''_u$ [MPa]	$\tau_u$ [MPa]	$b_{min}$ [mm]	$h_{min}$ [mm]
28.97	86.97	115.93	2.26	3.20

Tabella 3.22: Altezza di saldatura minima per ancorare le piastre di supporto laterali.

#### 3.4.4 Scelta della guarnizione

Al fine di garantire tenuta stagna del contenuto radioattivo durante il trasporto, tra la parete frontale e la porzione di telaio all'interfaccia si è deciso di posizionare una guarnizione: lavorando in ambiente radioattivo, il materiale consigliato, per la lunghezza delle fibre, è l'EPDM.

A partire da ciò si possono intraprendere due strade:

- la prima consiste nello scavare una cava di dimensioni opportune nel telaio e inserire un'O-ring del materiale scelto, consentendo, con una forza di appoggio sufficiente, la completa chiusura del sarcofago;
- la seconda consiste nell'applicare sulla superficie del telaio una guarnizione adesiva cava del materiale scelto, la quale verrà

compressa dall'appoggio della parete, ma non consentirà di arrivare al valore  $\rho = 0 \text{ rad}$ , fermandosi a valori leggermente maggiori.

Il primo approccio sembra essere, quindi, quello vincente ma, a causa della presenza persistente della molla a gas, la forza che la parete avrebbe esercitato sull'O-ring non sarebbe stata sufficiente a garantire la compressione richiesta dalle norme d'uso, da cui la non applicabilità della soluzione.

Di conseguenza, si è deciso di intraprendere è la seconda strada: la guarnizione scelta è prodotta da RS ed il codice prodotto è **727-6087** (fig. 3.55).



Figura 3.55: Guarnizione EPDM.

Il catalogo associato è riportato in appendice C.15.

La guarnizione verrà divisa in 4 pezzi, con le estremità smussate a  $45^\circ$ , e posizionata sul telaio a distanza  $5 \text{ mm}$  dagli spigoli interni (fig. 3.56).

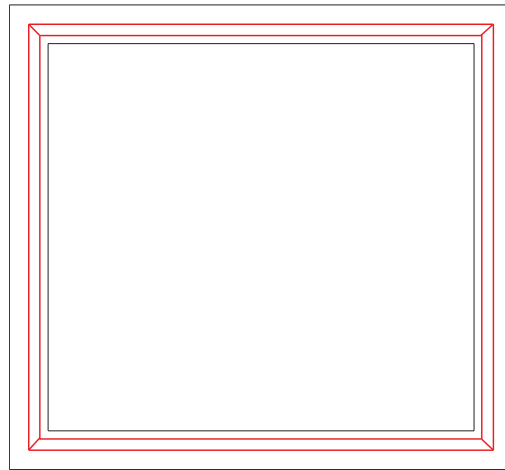


Figura 3.56: Posizionamento della guarnizione EPDM.

Le porzioni di guarnizione disposte orizzontalmente sono caratterizzati da una lunghezza del lato più lungo di  $610 \text{ mm}$  mentre quelle verticali da  $570 \text{ mm}$ .

### 3.4.5 Sistema realizzato

Di seguito sono riportate una serie di immagini in cui viene illustrato, sotto varie viste e conformazioni, il sarcofago a servizio dell'Hot Cell progettato.

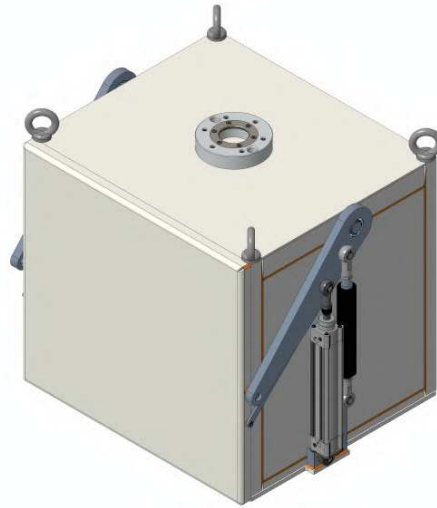


Figura 3.57: Sarcofago a supporto dell'Hot Cell (chiuso, con golfari, vista isometrica).

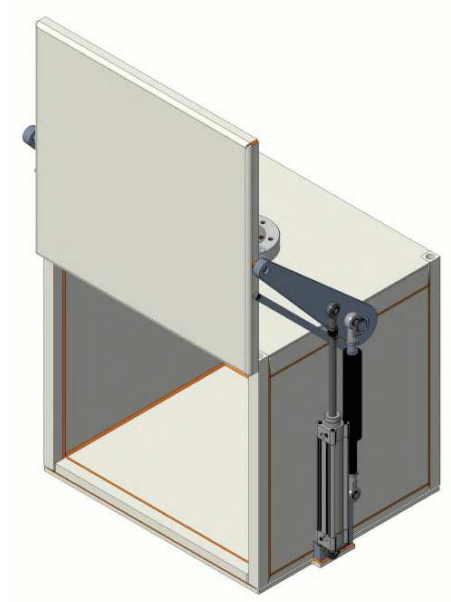


Figura 3.58: Sarcofago a supporto dell'Hot Cell (aperto, senza golfari, vista isometrica).

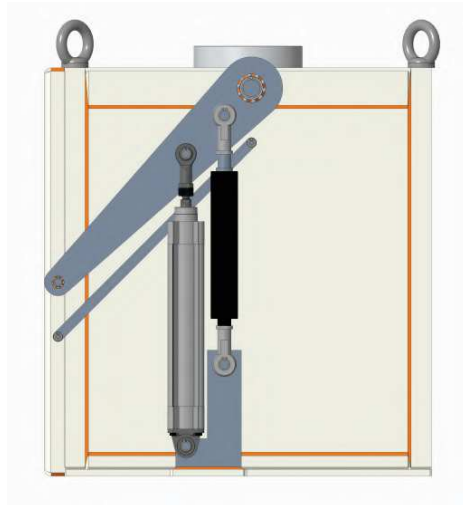


Figura 3.59: Sarcofago a supporto dell'Hot Cell (chiuso, con golfari, vista laterale).

### 3.5 VERIFICHE STRUTTURALI TRAMITE FEA

In questa sezione verrà illustrato il principio alla base dell'analisi agli elementi finiti (*FEA*), per poi effettuare tali analisi tramite Ansys® sui CAD di alcuni componenti critici.

#### 3.5.1 Introduzione

Con l'obiettivo di verificare risultati analitici, l'analisi agli elementi finiti (*FEA*, Finite Element Analysis) consente di valutare la risposta di un sistema meccanico, isostatico o iperstatico, composto da una o più componenti, soggetto ad una combinazione di carichi e vincoli. Gli esiti della simulazione vanno dal calcolo delle reazioni vincolari a quello delle deformazioni e delle tensioni in ogni punto della struttura.

In generale, un qualunque componente meccanico reale presenta proprietà caratterizzate nel continuo: l'approccio della *FEA* consiste nel discretizzare queste proprietà suddividendo la struttura del sistema sotto analisi in un insieme finito di elementi di dimensione sufficientemente piccola, ciascuno con un comportamento ben definito, ottenendo un sistema discreto approssimante quello di partenza. Per fare ciò, normalmente i software di analisi agli elementi finiti sfruttano approssimazioni di tipo polinomiale per poter determinare il comportamento del singolo elemento in funzione della geometria e del materiale. I punti di connessione tra i singoli elementi vengono chiamati nodi. Nel complesso, una rete di elementi e nodi prende il nome tecnico di *mesh*.

A causa della discretizzazione di un componente continuo, la *FEA* introduce inevitabilmente delle approssimazioni che conducono prin-

principalmente a due tipologie di errori:

- **errori di discretizzazione**, dovuti al numero finito di elementi nei quali verrà discretizzata la struttura, che verranno impiegati direttamente nell'analisi;
- **errori di modellazione**, causati dalle semplificazioni al modello per motivi di schematizzazione, che alterano le condizioni di vincolo e carico, concludendosi in un'alterazione, soprattutto locale, dei risultati.

La teoria alla base di questo metodo, garantisce che più la *mesh* è fitta, corrispondente ad una elevata densità di discretizzazione, minori sono gli effetti di questi errori sui risultati: ciò implica che, oltre un certo livello di discretizzazione, la soluzione si stabilizza e tende ad un risultato ingegneristicamente corretto. Al contempo, il tempo di risoluzione è strettamente legato al crescere del numero di elementi presenti nel sistema discreto: è opportuno quindi trovare il giusto *trade-off* tra l'accuratezza dei risultati e i tempi di calcolo, in base alle necessità operative.

Al fine di avere risultati più accurati in una regione della struttura in una successiva simulazione, è possibile attuare il processo di raffinamento della *mesh* per mezzo di un'analisi *FEM* (Finite Element Method): in particolare, conviene aumentare la densità della *mesh* intorno alle zone con elevati gradienti di tensione, poiché un maggior numero di elementi di dimensioni inferiori fornisce una descrizione più accurata del comportamento meccanico. Inoltre, in presenza di variazioni geometriche brusche, i risultati perdono accuratezza: per ovviare a ciò, è utile modellare la stesse dolcemente.

Il software impiegato per le analisi che verranno riportate di seguito è Ansys®Workbench 18.2, software commerciale per l'analisi agli elementi finiti.

### 3.5.2 *Analisi dei componenti più critici*

In questa sottosezione verranno mostrati gli esiti delle simulazioni *FEA* dei componenti più critici del sarcofago progettato, in particolare le braccia principali del meccanismo di apertura e la struttura fissa dello stesso.

#### 3.5.2.1 *Braccia principali*

In fig. 3.60 è riportato il modello agli elementi finiti delle braccia principali del meccanismo di apertura: la *mesh* utilizzata è di tipo adattativo, con dimensione massima degli elementi pari a 3 mm. Ricordando che la condizione peggiore dalle verifiche analitiche risultava essere in fase di discesa, sono state applicate le forze legate al peso della parete frontale ed alla molla a gas, scomposte in componenti sulla base

all'angolo di rotazione  $\rho = 0$  e  $\frac{\pi}{4}$  rad. Esse sono state collocate, insieme ad i momenti spuri che derivavano dalla lunghezza utile dei perni di attacco, lungo l'asse neutro. La trave si è immaginata incastrata al centro del foro di connessione con il telaio del sarcofago.

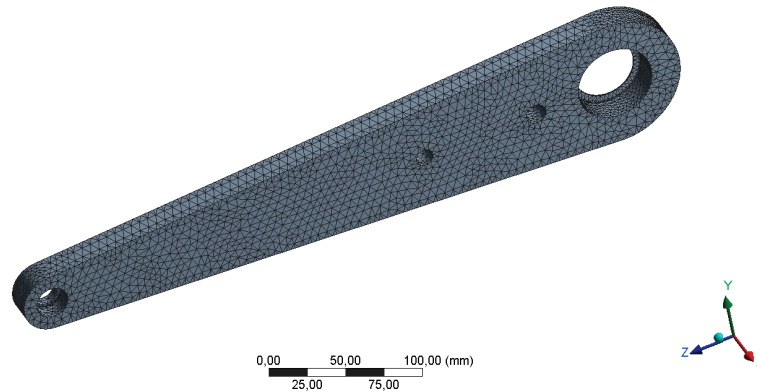


Figura 3.60: Mesh delle braccia principali del meccanismo di apertura.

In fig. 3.61 è riportato l'esito della simulazione per il calcolo delle tensioni equivalenti di Von-Mises per l'angolo  $\rho = 0$  rad: si osserva come il punto critico, in accordo con quanto individuato in precedenza, è nella sezione in corrispondenza del punto di attacco della molla a gas. In particolare, a causa della presenza dell'intaglio, si ha che la tensione massima in sua corrispondenza è circa  $90 \text{ MPa}$ , contro quella media di circa  $40 \text{ MPa}$ . Ciò implica un coefficiente di sensibilità all'intaglio di valore

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{media}} = 2.25 \quad (3.30)$$

leggermente maggiore di quello individuato in [13], pari invece a 2.

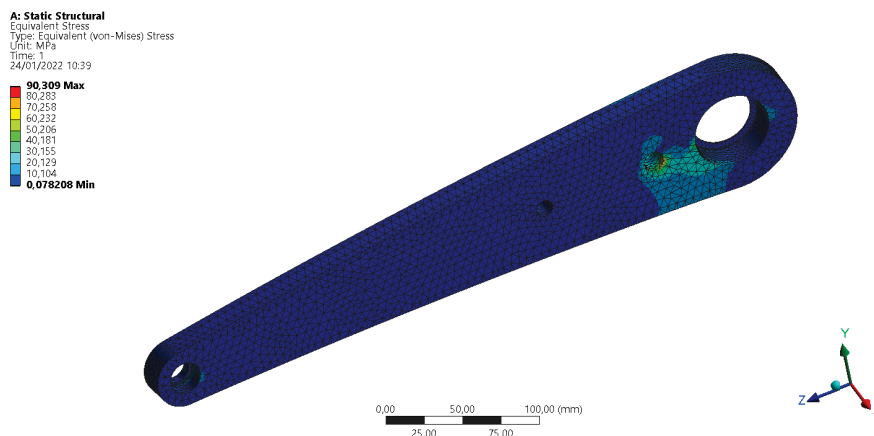


Figura 3.61: Tensione sulle braccia principali del meccanismo di apertura.

In fig. 3.62 è riportato l'esito della simulazione per il calcolo delle deformazioni compressive per l'angolo  $\rho = 0$  rad: a causa dell'aumen-

to dimensionale della sezione della trave, le deformazioni, rispetto al caso analitico sono calate di un fattore 3. Inoltre, è emerso che la stessa prova simulata per  $\rho = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$ , che dai risultati analitici avrebbe dovuto essere il caso peggiore, porta a deformazioni di entità inferiore: ciò è probabilmente dovuto alla presenza degli intagli che porta ad una maggior sensibilità alla flessione laterale.

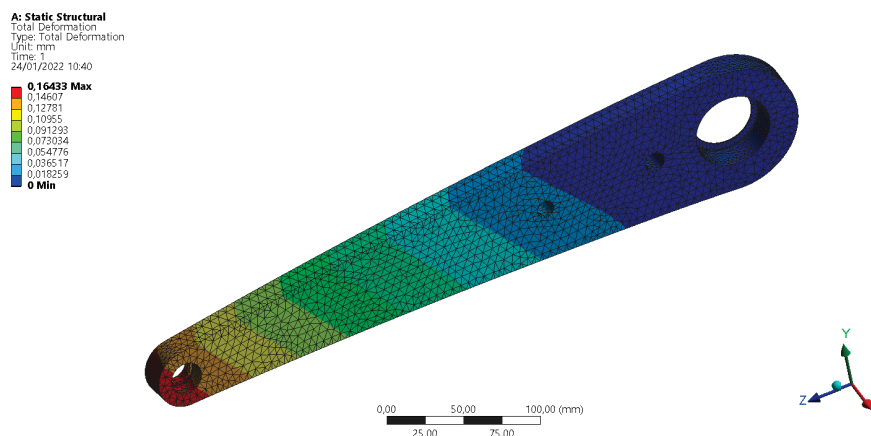


Figura 3.62: Deformazione delle braccia principali del meccanismo di apertura.

### 3.5.2.2 Struttura fissa

In fig. 3.63 è riportato il modello agli elementi finiti della struttura fissa del sarcofago: il CAD utilizzato consiste in una versione semplificata di quella reale, in cui tutte le saldature sono state rimosse immaginando, di conseguenza, l'intera struttura come un unico componente. Dato che il piombo non presenta proprietà strutturali, le varie pareti risultano vuote.

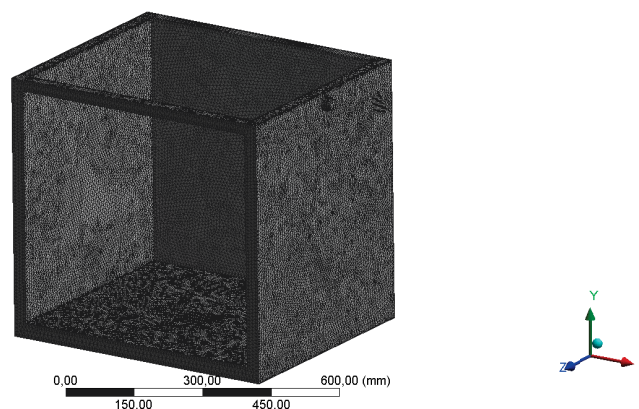


Figura 3.63: Mesh della struttura fissa del sarcofago.

La *mesh* implementata è di tipo adattativo con dimensione massima degli elementi pari a 5 mm. Sulla struttura si è applicata la forza



peso del coperchio, al centro del piano xz appoggiato sulle facce superiori, e tutte le reazioni vincolari scaricate sui due perni laterali dalle braccia, immaginate applicate sulla superficie laterale dei perni, di lunghezza utile. In particolare, riguardo quest'ultimo punto, si ricorda che lo stress tensionale del perno risultava indipendente dall'angolo di rotazione, da cui l'assunzione che  $\rho = \frac{\pi}{4} rad$ .

In fig. 3.64 è riportato l'esito della simulazione per il calcolo delle tensioni equivalenti di Von-Mises: è possibile osservare che la maggior parte della struttura risulta poco sollecitata, se non intorno al punto di connessione dei perni. Il valore di picco si ha in corrispondenza degli estremi di questi ultimi, con un coefficiente di sicurezza, rispetto allo snervamento del materiale, pari a 2.63.

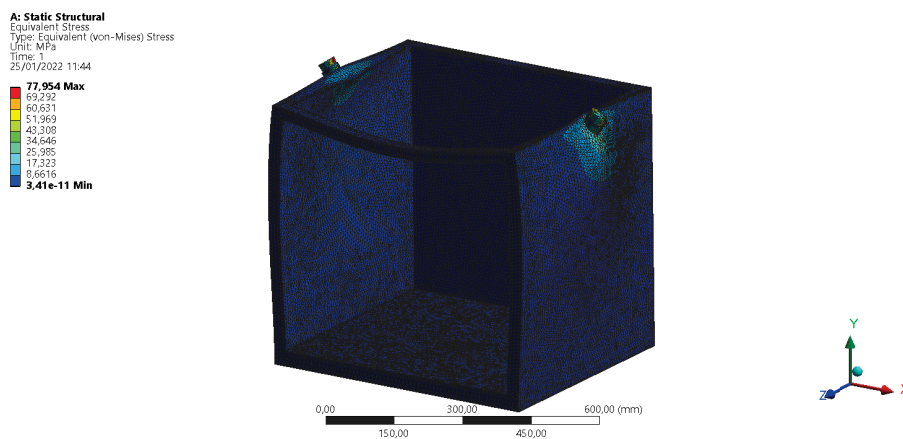


Figura 3.64: Tensione sulla struttura fissa del sarcofago.

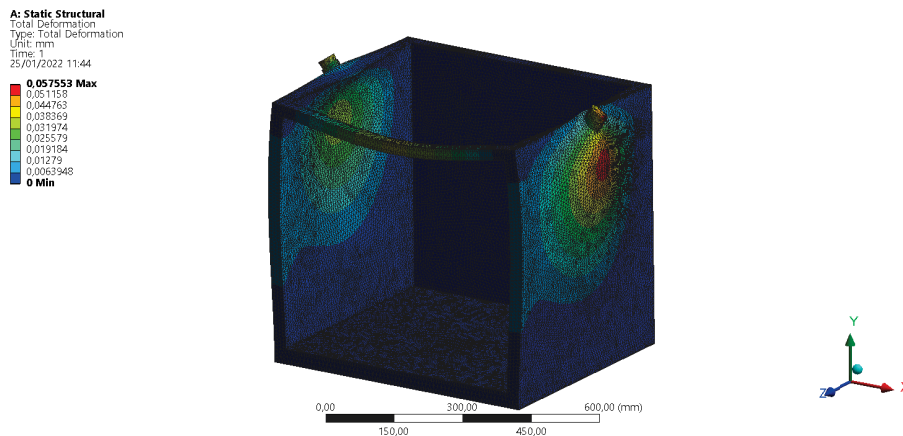


Figura 3.65: Deformazione della struttura fissa del sarcofago.

In fig. 3.65 è riportato l'esito della simulazione per il calcolo delle deformazioni compressive: la deformazione massima è presente in corrispondenza della lamiera di acciaio di spessore 5 mm e risulta essere pari all'  $\frac{1}{100}$  ca. dello stesso.

La struttura può quindi considerarsi verificata.

### 3.6 DIMENSIONAMENTO DEL CARRELLO MANUALE

In questa sezione si affronterà il dimensionamento del carrello manuale atto a trasportare il nuovo sarcofago dal Supply Point sino all'Hot Cell. Infine, si elencheranno poi le caratteristiche ed i vincoli da tenere presenti per la futura scelta dell'AGV.

#### 3.6.1 Dimensionamento dello scheletro di sostegno

In questa sottosezione si dimensionerà la parte del carrello su cui si appoggerà il nuovo sarcofago. Come punto di partenza ci si è basati sul sistema di sollevamento usato nell'HHM per sollevare quello attuale: si dispongono quattro travi a sezione quadrata cava standard in acciaio a formare una struttura quadrata saldandole tra loro. Si aggiungono poi all'interno altre due travi della medesima sezione ma di lunghezza ridotta da saldare agli estremi, che forniscono il sostegno principale per il peso applicato. Il valore di saldatura non è stato calcolato, ma si seguirà lo stesso approccio utilizzato per il pianale dell'HHM, dove si è ottenuta la completa continuità strutturale. Il risultato che si ottiene è mostrato in fig. 3.66.

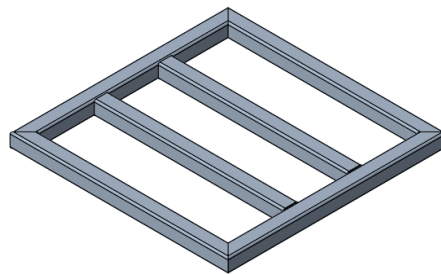


Figura 3.66: CAD dello scheletro di base del carrello manuale.

Per rispettare i vincoli dimensionali complessivi, la struttura misura  $750 \times 750 \text{ mm}$ . Le travi esterne presentano una lunghezza di  $750 \text{ mm}$  con un intaglio di  $50 \text{ mm} \times 45^\circ$  agli estremi, mentre quelle interne sono caratterizzate da una lunghezza di  $650 \text{ mm}$ . La loro sezione è  $50 \times 50 \text{ mm}$  con uno spessore di  $3 \text{ mm}$ . Il modulo di resistenza associato per il calcolo delle tensioni è tabulato e di valore pari a  $8340 \text{ mm}^3$ .

Come verifica si è deciso di immaginare che ciascuna delle due travi interne sia soggetta ad un carico concentrato pari alla metà della forza peso dell'intero sarcofago,  $F = 3041.1 \text{ N}$ , a metà della loro lunghezza: la situazione in cui ci si ritrova è quella di una trave a doppio incastro, il cui approccio analitico per la risoluzione è spiegato nel dettaglio in appendice B.1. Il valore massimo del momento flettente lo si ottiene in corrispondenza dei due incastri e a metà della trave, il cui valore è:

$$M_f = \frac{Fl}{8} = 247089.375 \text{ Nmm} \quad (3.31)$$

Sfruttando l'equazione per il calcolo della tensione associata al momento flettente in 3.13, si ottiene  $\sigma = 29.63 \text{ MPa}$ . Essendo che il sistema si è deciso di realizzarlo con l'acciaio S235, caratterizzato da  $\sigma_{sn} = 235 \text{ MPa}$ , si ottiene un coefficiente di sicurezza statico  $C_s = 7.93$ , da cui la struttura risulta verificata.

Per aumentare la superficie di appoggio si è deciso di saldare sopra allo scheletro una piastra di dimensioni  $750 \times 750 \times 7 \text{ mm}$  in acciaio S235, e, sopra a questa, di avvitare per mezzo di viti M8 (ISIO7380) una piastra di dimensioni  $750 \times 750 \times 3 \text{ mm}$  in acciaio AISI 304L: quest'ultima diventa quindi rimovibile per mantenere sempre nelle condizioni migliori il piano su cui verrà appoggiato il sarcofago. Gli spessori sono stati scelti in analogia a quanto realizzato nel sistema di sollevamento dell'HHM.

In fig. 3.67 è riportato il sistema appena descritto.



Figura 3.67: CAD della base di appoggio del carrello manuale.

La scanalatura della piastra di acciaio inox, centrata e di dimensioni  $550 \times 60 \text{ mm}$ , è dovuta alla necessità di saldare al sistema fisso il manico per consentire il trasporto da parte dell'operatore

### 3.6.2 Scelta delle ruote

Per individuare le ruote più adatte all'applicazione in questione è necessario ricordare che:

- è necessario muoversi agilmente a causa di spazi angusti;
- l'altezza della base del carrello non deve superare i  $400 \text{ mm}$ , al fine di evitare che, con sopra il sarcofago si superino i  $1100 \text{ mm}$  totali;
- nel complesso, a causa del peso dell'aggiunta di scheletro, piastre e successivo manico, esse devono avere una capacità di carico tale da sostenere almeno  $700 \text{ kg}$ .

Definito ciò, si è optato per le ruote girevoli della casa TENTE, il cui codice prodotto è **Delta 3642IEP160P63** (fig. 3.68), dove:

- *Delta* indica la famiglia di ruote;
- *3642* indica rispettivamente il materiale, la forma, il piroettamento e il tipo di supporto;
- *IEP* indica rispettivamente il nucleo, il battistrada e il rotolamento della ruota;
- *160* indica il diametro della ruota in [mm];
- *P63* indica il tipo di sistema di fissaggio.



Figura 3.68: Ruote **Delta 3642IEP160P63**.

In appendice [C.16](#) è riportato il catalogo del componente. In particolare, ciascuna ruota presenta una capacità di carico nominale di  $350\text{ kg}$ , portando, quindi nel complesso, alla possibilità di sostenere fino a  $1400\text{ kg}$ . Il coefficiente di sicurezza statico risulta essere, quindi, pari a circa 2.

Per avvitarle al sistema, sono stati predisposti delle piastre di dimensione  $187 \times 155 \times 20\text{ mm}$  (fig. [3.69](#)), realizzate per omogeneità anch'esse in acciaio S235, con dei fori filettati M10, posizionati con le medesime distanze tra gli interassi di quelli presenti sui supporti delle ruote. Le dimensioni illustrate corrispondono a quelle di questi ultimi aumentate di  $50\text{ mm}$  per garantire che l'ingombro della ruota non porti a superare i limiti dimensionali imposti. Per la connessione con le stesse, si sono utilizzate viti DIN912 di lunghezza  $15\text{ mm}$ .

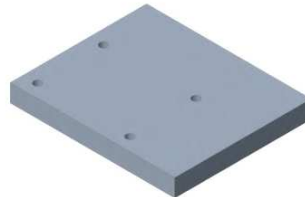


Figura 3.69: CAD delle piastre di attacco per i supporti delle ruote.

Le piastre verranno collocate sotto ai quattro vertici dello scheletro, facendo combaciare le rispettive superfici laterali e mantenendo la parte forata verso l'interno della struttura, per poi essere saldate con una saldatura di testa all'esterno e con una ad angolo nella parte interna. Ciò consente di verificare la struttura come se fosse incastrata: si può immaginare la piastra come costituita solo dalla porzione

contenente i fori ( $137 \times 105 \times 20 \text{ mm}$ ) e, per valutare il caso peggiore, immaginare che l'incastro sia presente solo lungo il lato più corto. Si immagini dunque il sistema sollecitato al centro con una forza pari a quella massima sostenibile dalla ruota, ossia  $F = 350 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3433.5 \text{ N}$  ed incastrato solamente lungo il lato corto (fig. 3.70).

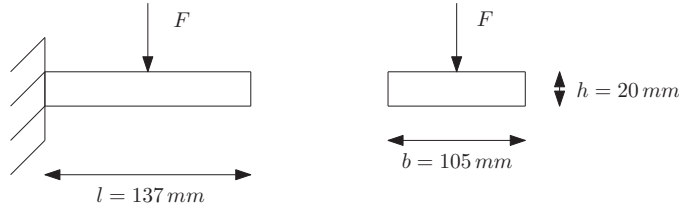


Figura 3.70: Struttura equivalente per la verifica statica dei blocchetti di attacco.

All'incastro verranno sviluppate due reazioni vincolari: una forza, con verso opposto e di pari intensità a quella di sollecitazione, ed un momento flettente, di intensità  $M_f = F \frac{l}{2} = 235.194.75 \text{ Nmm}$ . Sfruttando le formule per il calcolo della tensione in presenza di un momento riportate in 3.13, ottenendo una tensione  $\sigma = 33.60 \text{ MPa}$ , che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza  $C_s = \frac{\sigma_{sn}}{\sigma} = 6.99$ . La piastra risulta quindi verificata anche nella condizione peggiore.

Per quanto riguarda le saldature, quelle esterne verranno effettuate come supporto lungo i bordi a disposizione, mentre quelle ad angolo interne possono essere dimensionate seguendo una procedura simile a quanto descritto nella sottosezione 3.4.3. In questo caso, considerando una saldatura ad angolo solo lungo il lato corto, si definisce:

- $l_y = b = 105 \text{ mm}$ ;
- $r_y = \frac{l_y}{2} = 52.5 \text{ mm}$ ;
- $I_{x,u} = \frac{1}{12} l_y^3 = 96468.75 \text{ mm}^4$

ipotizzando un sistema di riferimento con l'asse  $x$  lungo la direzione del lato lungo e l'asse  $y$  lungo quello corto.

Definito ciò, è possibile calcolare le tensioni di taglio unitarie con una versione semplificata delle equazioni in 3.29 per poi, noto che il materiale di apporto è acciaio S235, con quindi  $\tau_{amm} = \frac{\sigma_{sn}}{4} = 58.75 \text{ MPa}$ , ricavare il valore minimo dell'altezza di saldatura. I risultati ottenuti sono riportati in tab. 3.23. Il valore di altezza di saldatura impiegato sarà pari, a vantaggio di sicurezza, all'intero successivo.

Sempre a vantaggio di sicurezza, si proseguirà con la saldatura ad angolo dell'altezza individuata anche lungo il lato lungo.

$\tau'_u$ [MPa]	$\tau''_u$ [MPa]	$\tau_u$ [MPa]	$b_{min}$ [mm]	$h_{min}$ [mm]
32.7	128.0	160.7	2.74	3.87

Tabella 3.23: Altezza di saldatura minima per ancorare le piastre di attacco per i supporti delle ruote.

Per concludere, l'altezza utile della ruota è  $210\text{ mm}$ , a cui si devono aggiungere  $80\text{ mm}$  di scheletro, piastre di appoggio e piastre di attacco, arrivando ad un'altezza complessiva di  $290\text{ mm}$ , che rispetta il limite di  $400\text{ mm}$ .

### 3.6.3 Verifica del manico e relative saldature

Non avendo a disposizione un valore preciso per l'attrito volvente delle ruote per comprendere la spinta necessaria per movimentare il sistema, per dimensionare il manico si è deciso di usare un approccio alternativo: basandosi sui profilati a sezione circolare in acciaio S235, si è fissata la deformazione massima del manico che si desidera, da cui si è potuto ricavare la massima forza applicabile.

In particolare si sono valutati i profilati di diametro  $42.4\text{ mm}$  e spessore  $3.2\text{ mm}$ , con momento geometrico del secondo ordine pari a  $J = 76200\text{ mm}^4$ . Al fine di portare il manico ad un'altezza abbastanza confortevole per l'operatore, ma che al tempo stesso rispetti i vincoli dimensionali, la lunghezza dei montanti è stata fissata a  $700\text{ mm}$ . Imponendo che la deformazione massima dell'estremo sia di  $3\text{ mm}$  (pari ossia allo spessore ca.), invertendo l'equazione presente in 3.15 e ricordando che  $E = 210\text{ GPa}$ , si ottiene che la forza massima applicabile a manico è pari a  $419.88\text{ N}$ . Il valore ha ragionevole margine rispetto alla capacità di spinta di un essere umano.



Figura 3.71: CAD del manico del carrello.

In fig. 3.71 è riportato il CAD del manico del carrello. In particolare,

per la connessione al traverso di lunghezza  $490\text{ mm}$ , è stato effettuato un taglio a  $45^\circ$  sulle estremità sia di questo che dei montanti, così da poter essere saldati garantendo la massima continuità del materiale. Inoltre, per garantire maggior solidità, sono state aggiunti anche dei montanti interni di diametro  $33.7\text{ mm}$  e spessore  $3.2\text{ mm}$ .

Per connettere le travi al carrello si è deciso di effettuare una saldatura ad'angolo per apporto di acciaio S235 ( $\tau_{amm} = \frac{\sigma_{sn}}{4} = 58.75\text{ MPa}$ ): l'approccio da seguire è il medesimo descritto nella sottosezione 3.3.4, considerando i profilati dei montanti esterni caricati da una forza pari a quella massima calcolata in precedenza. In tab. 3.24 sono riportati i risultati dei calcoli.

$\tau'_u$ [MPa]	$\tau''_u$ [MPa]	$\tau_u$ [MPa]	$b_{min}$ [mm]	$h_{min}$ [mm]
3.15	208.16	211.31	3.59	5.09

Tabella 3.24: Altezza di saldatura minima per ancorare le piastre di supporto laterali.

A vantaggio di sicurezza, si è deciso di arrotondare per eccesso l'altezza di saldatura all'intero successivo.

#### 3.6.4 Sistema realizzato

Di seguito sono riportate una serie di immagini mostranti, sotto diverse viste e conformazioni, il carrello manuale a servizio dell'Hot Cell progettato.



Figura 3.72: Carrello manuale a servizio dell'Hot Cell (vista isometrica).

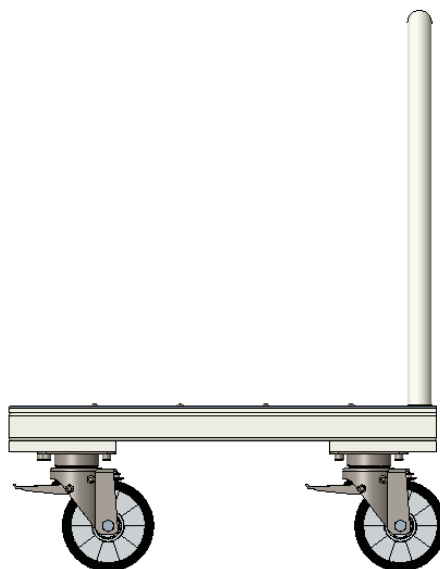


Figura 3.73: Carrello manuale a servizio dell'Hot Cell (vista laterale).



Figura 3.74: Carrello manuale con sarcofago a servizio dell'Hot Cell (vista isometrica).



### 3.6.5 Caratteristiche e vincoli per la scelta dell'AGV

Al fine di annullare completamente l'esposizione di un operatore umano alle radiazioni, per quanto di minima entità, in futuro avverrà l'acquisto di un AGV (fig. 3.75) che compierà lo stesso tragitto del carrello manuale. A causa di ciò, rimangono validi i medesimi vincoli già illustrati nella sottosezione 2.5.1, che per l'AGV si traducono in:

- guida a triangolazione laser o nastro magnetico;
- capacità di movimentazione omnidirezionale, a causa dei limitati spazi di manovra;
- dimensioni massime  $800 \times 800 \times 400 \text{ mm}$  ( $w \times l \times h$ ), a causa del passaggio attraverso la passbox.



Figura 3.75: Esempio di AGV.

Tra le diverse soluzioni commerciali individuate si è osservato che, nel range dimensionale appena descritto, esse presentano dei payload intorno ai  $200\text{-}250 \text{ kg}$ , pari a circa  $\frac{1}{3}$  del peso attuale del sarcofago progettato. Ricordando, inoltre, che la pavimentazione dei Laboratori ISOL, presente all'ingresso della passbox, ha una capacità di carico limitata a  $400 \text{ N/m}^2$ , si potrebbe prendere in considerazione la possibilità di ridurre il numero di lastre di piombo presenti nelle pareti del sarcofago per poterlo adattare a questi vincoli, senza apportare modifiche alla pavimentazione e scegliere uno degli AGV a disposizione nel mercato.

Come alternativa, si sta valutando la possibilità di realizzare, contattando diversi produttori, un AGV customizzato cercando, pur restando nei limiti dimensionali illustrati, di avere un payload che consenta di mantenere, o al più ridurre di uno o due, il numero di lastre di piombo per parete, ma al contempo portando alla necessità di rinforzare la porzione di pavimento di interesse.

Al momento non è ancora stato definito quale delle due soluzioni presenti il trade-off migliore, seppur la seconda, visto la possibilità di trasporto di una TIS appena rimossa dal FE, potrebbe risultare la più adatta.



## COMUNICAZIONE TRA PLC DI SICUREZZA

---

### 4.1 SENSORISTICA DA INTEGRARE

In questa sezione verrà fornita una descrizione della sensoristica che sarà necessario integrare al sistema progettato per poter gestire la scansione delle fasi di scarico della TIS unit: a causa del fatto che non è ancora stata implementata la movimentazione orizzontale, i sensori relativi alla presenza o meno della stessa all'interno del sarcofago non sono stati considerati, date le modifiche che sarà necessario apportare al piano di appoggio.

In merito alla gestione del coperchio, è necessario inserire dei sensori che forniscano informazioni sulla sua presenza o meno: in particolare, data la movimentazione perfettamente verticale, si è deciso di optare per gli switch della *Microprecision Electronics SA* con codice prodotto **MP320-1MS27**, con contatto SPDT-NC/NO (*Single Pole Double Throw - Normally Closed/Normally Open*), dove:

- *MP3* indica la serie degli switch;
- *2* indica che in dotazione è fornito l'attuatore;
- *o* indica il materiale dei contatti, ossia argento;
- *1MS27* indica la conformazione dello switch, in particolare telescopico.

In fig. 4.1 è riportato lo switch appena descritto, mentre in appendice C.17 il catalogo di riferimento.



Figura 4.1: Switch **MP320-1MS27**.

Viceversa, per gestire il sistema di elettrovalvole che attuerà i cilindri pneumatici, sono già stati introdotti i sensori di finecorsa magne-

tici (sottosezione 3.3.2) ma, per ulteriore verifica, si è ritenuto necessario introdurre dei sensori che consentissero di conoscere se la parete frontale apribile è completamente chiusa o aperta: infatti, l'AGV che si occuperà del trasporto non potrà muoversi fintantoché il contenuto non risulta isolato dall'esterno (parete chiusa), mentre l'inserimento della TIS per mezzo della movimentazione orizzontale potrà cominciare solamente dopo aver terminato l'apertura del sistema a pantografo (parete aperta). A tal scopo si è deciso di optare per gli switch della *Microprecision Electronics SA* con codice prodotto **MP320-5MAL**, ancora una volta con contatto SPDT-NC/NO, dove:

- *MP3* indica la serie degli switch;
- *2* indica che in dotazione è fornito l'attuatore;
- *o* indica il materiale dei contatti, ossia argento;
- *5MAL* indica la conformazione dello switch, in particolare a camma.

In fig. 4.2 è riportato lo switch appena descritto, mentre in appendice C.17 il catalogo di riferimento.



Figura 4.2: Switch MP320-5MAL.

Al fine di aver maggior sicurezza, si opterà per una ridondanza doppia di tutti i sensori presentati.

#### 4.2 INTRODUZIONE AI PLC

In questa sezione verrà fornita una panoramica sul mondo dei PLC, illustrandone la struttura ed i vantaggi per l'applicazione industriale, per poi approfondire le differenze tra un PLC convenzionale e uno di sicurezza.

#### 4.2.1 *Struttura ed impiego in ambito industriale*

Il PLC (*Programmable Logic Controller*) è il dispositivo che negli anni si è imposto come standard per il controllo logico sequenziale, grazie alle sue caratteristiche di affidabilità, espandibilità, semplicità di programmazione e flessibilità: essi nascono, infatti, per sopperire alla rigidità e staticità delle logiche cablate, in quanto, ogni qual volta fosse necessario effettuare modifiche o utilizzare lo stesso controllore per impianti diversi, era necessario riprogettare il sistema.

Lo standard che definisce la struttura hardware e software dei PLC è IEC 61131 [9], emanato dall'IEC (*Comitato Elettronico Internazionale*) nel 1993 e recepito dal Comitato Elettronico Italiano nel 1996, che recita:

*Un sistema elettronico a funzionamento digitale, destinato all'uso in ambito industriale, che utilizza una memoria programmabile per l'archiviazione interna di istruzioni orientate all'utilizzatore per l'implementazione di funzioni specifiche [...] e per controllare, mediante ingressi e uscite sia digitali sia analogiche, vari tipi di macchine e processi.*

Di norma, i PLC presentano strutture modulari, interfacciate elettricamente e, a volte, meccanicamente tra loro tramite un bus proprietario (impedendo l'impiego di moduli di case costruttrici diverse) e contenute in un telaio/armadio (*rack*), che deve garantire la solidità meccanica dell'insieme e la schermatura da interferenze elettromagnetiche.

I principali moduli sono:

- **Processore e memoria:** un tempo si utilizzavano soluzioni custom, limitate a poche e semplici operazioni, ma con il passare degli anni si è passati a processori più articolati, consentendo l'utilizzo di un set di istruzioni più ampio, se non ad architetture multiprocessore. In ogni caso, le operazioni svolte sono orientate ai singoli bit. Le modalità di esecuzione del programma sono tre, ossia periodica (e.g. ogni 10 ms), ciclica (ripetitiva, senza scadenze temporali) o ad eventi (istruzioni svolte previo avvenimento di particolari eventi).

Per quanto riguarda la memoria, essa è normalmente divisa in *Memoria di sistema*, dove è presente il Sistema Operativo (SO) del PLC e, normalmente, è di tipo ROM o EEPROM, , in *Memoria di programma*, dove vengono salvate le istruzioni del programma eseguibile dal PLC e, normalmente, è di tipo RAM (volatile e non), ed, infine, in *Memoria Dati (o di Lavoro)*, dove sono presenti Flag e Registri ed anch'essa, normalmente, è di tipo RAM;

- **Alimentatore:** ciascun modulo richiede in ingresso un'alimentazione ad una tensione continua e stabilizzata di valore compreso tra i 5 e i 24 V, da cui la necessaria presenza di un alimentatore equipaggiato con trasformatori, raddrizzatori (A-C o C-C) e stabilizzatori. Se presenti, si possono considerare sua parte

anche le batterie tampone, che intervengono in caso di assenza di alimentazione da rete per salvare il contenuto delle memorie volatili;

- **Moduli I/O:** il numero di ingressi e uscite messi a disposizione può essere un parametro vincolante nella scelta di un particolare PLC per una determinata applicazione. Queste schede possono essere sia digitali che analogiche e, nel caso delle seconde, dotate di ADC/DAC, per la conversione dei segnali in ingresso/uscita. Normalmente un segnale digitale varia tra 0 V (0 logico) e 24 V (1 logico), mentre quelli analogici hanno range variabili, ma al massimo un paio decine di V o un paio di decine di mA. Inoltre, in caso di interfacciamento con sensori/attuatori, svolgono anche il condizionamento e l'adattamento dei segnali ricevuti/trasmessi. Al fine di protezione del circuiteria principale del PLC, questi moduli normalmente presentano isolamento galvanico tramite fotoaccoppiatori o trasformatori;
- **Terminale di programmazione:** soprattutto per i PLC più datati venivano forniti dei terminali a tastiera con cui scrivere il codice da mandare in esecuzione, mentre oggi, normalmente, la programmazione avviene offline tramite PC e software proprietario, consentendo anche di monitorarne il funzionamento online.

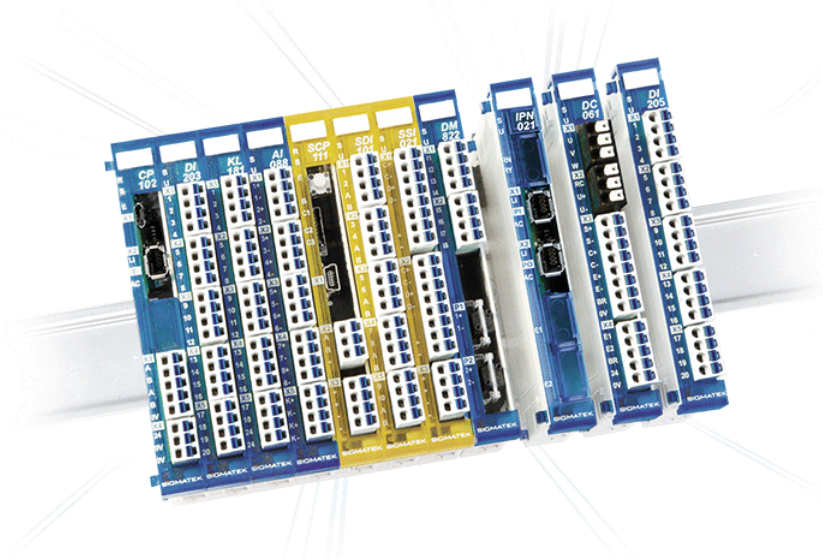


Figura 4.3: Esempio di PLC Sigmatek: moduli convenzionali e di sicurezza.

In sostanza, i PLC oggi si sono evoluti ad un livello tale da avere potenzialità simili a quelle di un convenzionale calcolatore: possono essere multiprocessore, possono connettersi a reti informatiche e possono gestire funzioni anche complesse. Al contempo, presentano tutta una serie di vantaggi [10] che hanno consentito loro di monopolizzare il mercato industriale:

- garantiscono lo svoglimento dei task assegnati secondo una schedulazione *Hard/Soft Real Time*;
- possono essere posizionati in ambienti industriali ostili;
- possono essere molto robusti rispetto ai disturbi elettromagnetici;
- gestiscono un flusso informativo standardizzato;
- consentono di ripristinare immediatamente lo stato corrente alla riaccensione dopo un'eventuale mancanza di alimentazione;
- possono essere programmati secondo 5 linguaggi di programmazione standardizzati, variabili da quelli a basso livello (simili a logica cablata o linguaggio macchina) fino a quelli ad alto livello;
- consentono il monitoraggio online, tramite software proprietario, del corretto funzionamento del sistema;
- risultano essere relativamente economici.

#### 4.2.2 Differenza tra PLC convenzionali e di sicurezza

I sistemi di sicurezza, un tempo costituiti da componenti elettromeccanici *hard wired*, sono stati realizzati sempre più per mezzo di PLC convenzionali o di sicurezza in configurazione ridondante, per via dei vari vantaggi già elencati anche in precedenza.

Per applicazioni nel campo della sicurezza, i PLC convenzionali vengono impiegati in coppie, con conseguente raddoppio di tutte le componenti: nel caso il primo controllore subisca un guasto, quello di supporto interviene per salvare lo stato e spegnere in maniera corretta le diverse strumentazioni controllate dallo stesso. Inoltre, devono prevedere degli opportuni moduli I/O per gestire i segnali di sicurezza in maniera separata da quelli di controllo convenzionale, oltre ad un software personalizzato per monitorare, controllare e diagnosticare il corretto funzionamento del sistema. In sostanza, gestire la sicurezza attraverso un PLC convenzionale richiede una grossa complicazione ingegneristica, per quanto le case produttrici, sempre più, forniscono diversi supporti hardware e software per alleggerire il processo di validazione.

Nel 1998 è stata pubblicata la prima parte di uno standard internazionale che definisce i requisiti per i sistemi elettronici programmabili usati per il controllo delle porzioni di un sistema legate alla sicurezza: oggi questo standard è conosciuto con il nome di **IEC 61508** ed ha spinto sempre più case produttrici verso la realizzazione di PLC per la sola gestione del ramo di sicurezza di un processo, da cui il nome di *Safety PLC* [1].

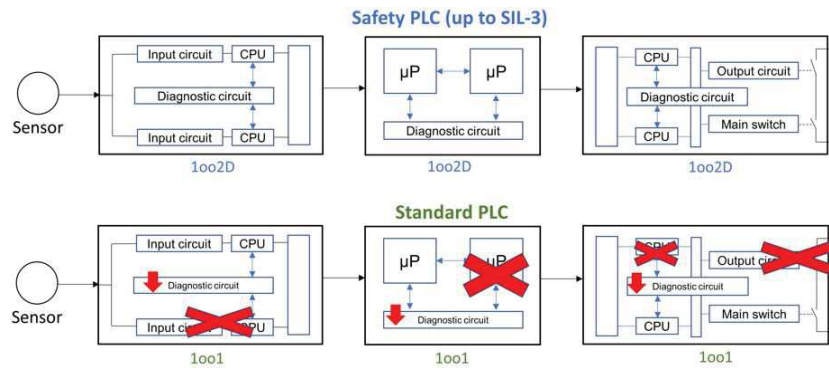


Figura 4.4: Differenze tra un PLC convenzionale ed uno di sicurezza.

Le differenze tra quelli convenzionali e quelli di sicurezza possono essere riassunte in 3 campi, come illustrato in fig. 4.4:

- **architettura:** normalmente un modulo processore di un PLC convenzionale è costituito dal microprocessore, che esegue il programma, insieme alle memorie di supporto dove sono collocati il codice e le variabili utilizzate. Nel caso di un PLC di sicurezza, è presente una ridondanza di ciascuna di queste componenti ed inoltre è integrato un sistema di diagnostica, costituito da un *whatchdog* e un circuito di controllo del sincronismo;
- **input:** normalmente i moduli di input di un PLC convenzionale non sono in grado di riconoscere se i loro circuiti di ingresso funzionano o meno. I PLC di sicurezza sono dotati di un sistema di "output interni" che consentono di testare periodicamente il corretto funzionamento dei pin di input;
- **output:** normalmente i moduli di output di un PLC convenzionale sono costituiti da un semplice switch. Nel caso di un PLC di sicurezza, ciascun microprocessore è connesso ad un test point, disposti in serie, per poi, prima dell'uscita effettiva, avere un ulteriore test point, gestito da un circuito di confronto/*whatchdog*: in caso di guasto, uno dei due circuiti di test a valle dei microprocessori segnalerà l'errore, portando all'apertura anche dello switch in prossimità dell'uscita. Il PLC riconosce quindi di essere in *system failure*, mettendo in sicurezza automaticamente l'intero sistema.

Lo standard **IEC 61508** definisce 4 *Safety Integrity Levels* (SILs): il solo impiego di PLC di sicurezza e componentistica certificata consente di raggiungere di base il SIL2. Passando ad una ridondanza doppia di tutta la catena di controllo, si salirebbe al livello successivo (SIL3). Questi due livelli risultano essere più che sufficienti per l'applicazione in ambito industriale.

In definitiva, l'uso di Safety PLC, seppur individualmente costino 25-30% in più della controparte convenzionale, nel complesso consente di risparmiare sulla catena di sicurezza, per via della non necessaria ridondanza. Al contempo, il consumatore finale deve tenere ben



presente la necessità di formare il personale, dato l'hardware ed il software dedicato.

#### 4.3 PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE FSOE

Nei moderni sistemi di comunicazione è consentito trasmettere sul medesimo mezzo ed in maniera deterministica sia i dati del processo di controllo che quelli critici dal punto di vista della sicurezza, da cui la possibilità di:

- avere un sistema di comunicazione unico, semplificando la cablatura;
- garantire flessibilità ed espandibilità dell'architettura del sistema complessivo;
- utilizzare componentistica pre-certificata per applicazioni di sicurezza;
- avere informazioni di diagnostica continua grazie alle funzioni di sicurezza;
- facilitare l'integrazione della parte di sicurezza nel controllo convenzionale;
- basarsi, sia per le funzioni di sicurezza che standard, sullo stesso ambiente di sviluppo.

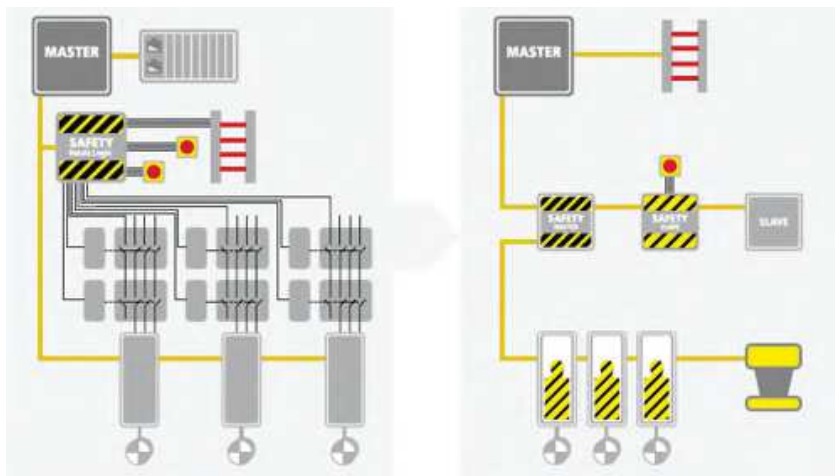


Figura 4.5: Confronto tra logica a relè e FSoE.

A tal scopo, EtherCAT impiega il protocollo Safety over EtherCAT (FSoE = *Fail Safe over EtherCAT*) [17]: è stato concepito sulla base dello standard IEC 61508, per poi essere standardizzato nella specifica 3 dello standard IEC 61784. Può essere impiegato fino ad un SIL3, perfetto per l'impiego in ambito industriale.

Inoltre, questo protocollo considera l'intera rete di comunicazione come parte del black channel, non rilevante ai fini della sicurezza: infatti la trasmissione dei dati avviene in un canale unico, dove sono presenti sia dati standard che di sicurezza organizzati in pacchetti distinti (fig. 4.6). I frame di sicurezza, chiamati *Safety Container*, contengono sia i dati che tutta una serie di informazioni necessarie per assicurarne l'integrità. Essendo il mezzo di comunicazione parte del black channel, il trasferimento dei dati non è limitato solo ad EtherCAT, ma può avvenire anche attraverso fieldbus, Ethernet o analoghi, e possono usare sia cavi in rame che fibre ottiche o tecnologie wireless: ciò consente di connettere macchine diverse e distanti l'una dall'altra, o addirittura diversi dispositivi contenuti in una stessa, in modo sicuro e semplice, senza richiedere cablaggi aggiuntivi o particolari.

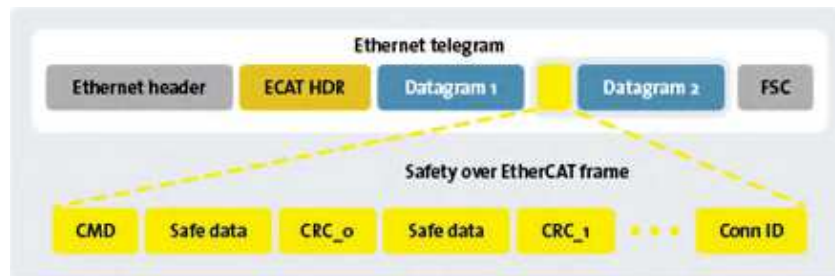


Figura 4.6: Organizzazione dei dati trasmessi nel black channel.

In definitiva, quindi, l'implementazione del protocollo FSoE richiede un numero limitato di risorse ed al contempo porta a prestazioni elevate e con brevi tempi di risposta.

#### 4.4 TESTBENCH E SOFTWARE

In questa sezione verrà illustrato il banco di prova (*testbench*) ed il software utilizzato per implementare una comunicazione FSoE.

##### 4.4.1 Hardware utilizzato

Per implementare la comunicazione FSoE, si sono utilizzati due PLC di marca Sigmatek:

- **Master** si occupa della trasmissione dei dati. Nell'immagine di sinistra in fig. 4.7 è possibile osservare i moduli da cui risulta composto: sono presenti due moduli processore (CP 111, standard, e SCP 102, di sicurezza) insieme a tre moduli I/O (DI, input standard digitali, TO, output standard, e SDM, mixer digitale di sicurezza);
- **Slave** si occupa della ricezione dei dati. Nell'immagine di destra in fig. 4.7 è possibile osservare i moduli da cui risulta composto: sono presenti ancora due moduli processore (CP 111, standard, e SCP 102, di sicurezza) insieme a due moduli I/O (IIO, input/output standard, e STO, output digitale di sicurezza);

La comunicazione tra i singoli moduli avviene per mezzo del bus VARAN (*Versatile Automation Random Access Network*) hard real time basato sul protocollo Ethernet.

Le schede di PLC convenzionali sono necessarie al fine di poter implementare la comunicazione FSoE: grazie al principio del black channel, si è deciso di sfruttare come mezzo di comunicazione un cavo Ethernet e l'interfaccia di rete è presente sulle CPU CP 102, convenzionali. In primo luogo essi verranno connessi tra loro via cavo sfruttando uno switch, per poi passare ad una comunicazione wireless sfruttando due *access point* distinti.

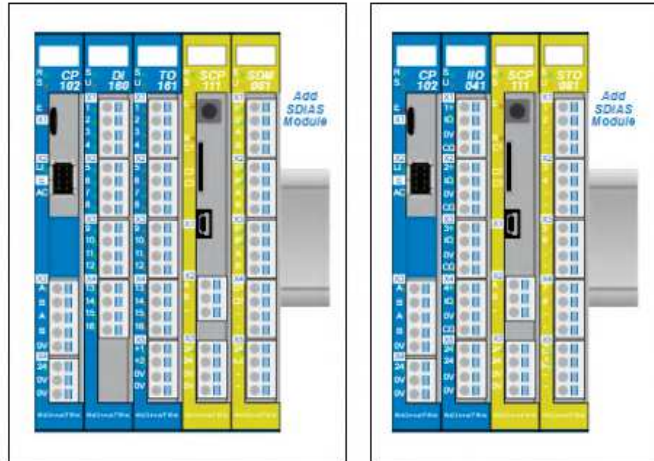


Figura 4.7: A sinistra è mostrato il PLC Master, a destra quello Slave.

Al modulo SDM del PLC Master è stato collegato un pulsante di arresto di emergenza in configurazione NC, collegato a due pin di ingresso in parallelo, in maniera tale da consentire la rilevazione di eventuali guasti al cablaggio o contatti staccati, poiché utilizzati in logica AND all'interno del programma (sottosezione 4.4.2). Alle uscite invece sono collegate due luci a led, una verde, accesa finché il sistema è attivo, ed una rossa, accesa quando il sistema è in emergenza. In fig. 4.8 sono riportati i componenti illustrati.



Figura 4.8: LED e fungo di emergenza collegati al PLC Master.

Viceversa, al modulo STO del PLC Slave sono stati connessi due relé che consentono di abilitare/disabilitare il servo-drive **Lexium 32M** della casa Schneider Electric [6], chiudendo o meno i contatti

*Safe Torque Off (STO) A e B dello stesso, e l'elettrovalvola di sicurezza MX2-1/2V1621EC di marca Camozzi, il cui catalogo è riportato in appendice C.18 e:*

- *MX* indica la serie;
- *2* indica la taglia;
- *1/2* indica la dimensione dell'attacco in pollici;
- *V* indica che è una valvola 3/2, con contatto pnp NO;
- *16* indica che il servopilotaggio è interno;
- *2* indica che il canale è singolo;
- *1* indica che è dotata di silenziatore;
- *E* indica che è dotata di un sensore CE con connettore M8 e cavo da 300 mm;
- *C* indica che è la versione normata CE.

Questi dispositivi sono mostrati in fig. 4.9.

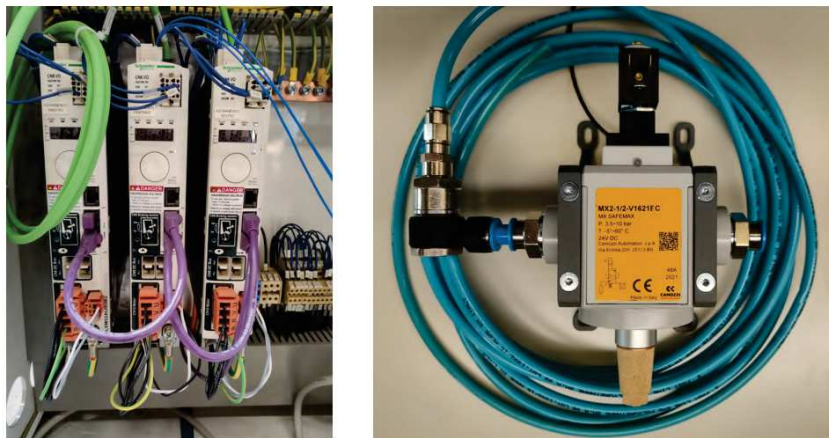


Figura 4.9: Accessori collegati al PLC Slave: a sinistra è mostrato il servo-drive **Lexium 32M**, a destra l'elettrovalvola **MX2-1/2V1621EC**.

L'obiettivo è quello di disabilitare il servo-drive e di scaricare l'aria compressa dai dispositivi a valle dell'elettrovalvola, collegati al PLC Slave, quando viene premuto il fungo di emergenza, collegato al PLC Master.

#### 4.4.2 Software implementato

Per lo sviluppo del software, dovendo programmare sia un PLC standard che di sicurezza, si sono impiegati, rispettivamente, i software *Lasal Class 2* e *Lasal Safety Designer*.

In merito ai PLC convenzionali, la programmazione si è limitata a generare dei programmi vuoti, con tempi ciclo pari ad 1 ms: questo

valore in se non è fondamentale, ma deve essere uguale sia per le schede convenzionali che per quelle di sicurezza, portandole così ad una condizione di sincronismo, altrimenti non si può realizzare la comunicazione. Il massimo valore assegnabile è  $10\text{ ms}$ , limite imposto dalle schede di sicurezza.



Figura 4.10: Programma implementato nel PLC Master: fungo di emergenza non premuto.

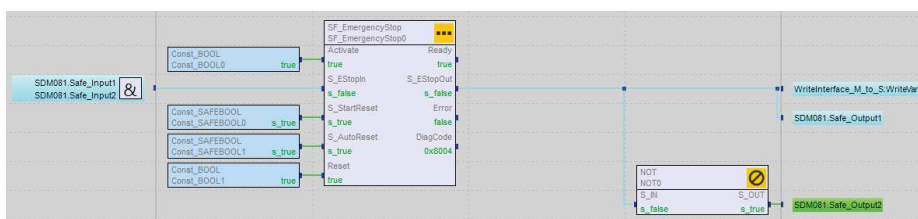


Figura 4.11: Programma implementato nel PLC Master: fungo di emergenza premuto.

In fig. 4.10 e 4.11 è illustrato il programma implementato nel PLC Master di sicurezza: la programmazione avviene tramite *drag & drop* delle variabili, blocchi funzione o ingressi/uscite a disposizione. In particolare, si è utilizzata la funzione certificata per gli arresti di emergenza, di nome *SF\_EmergencyStop*, la quale prevede diversi ingressi, ma l'unico di interesse è *S\_EStopIn*, che consente di innescare il processo di arresto, a patto che tutti gli altri ingressi siano settati a *true*, se variabili booleane, o *s\_true*, se variabili booleane di sicurezza. Questo è stato connesso ai due ingressi del modulo SDM, collegati al fungo di emergenza, messi in *AND* tra loro per consentire la possibilità di individuare guasti anche ad un singolo collegamento, in quanto, in questo caso, il sistema vedrebbe il fungo come premuto anche se così non è. L'uscita del blocco funzione *S\_EStopOut* è connessa al pin di uscita del modulo SDM in cui è collegato il led verde e, passando per una funzione *NOT*, a quello in cui è collegato il led rosso. Inoltre, essa viene portata fino ad una variabile contenuta nell'interfaccia di scrittura di nome *WriteInterface\_M\_to\_S*, che consente il trasferimento del segnale al PLC Slave: essa infatti verrà importata in questo come interfaccia di lettura e le verrà assegnato l'indirizzo IP del PLC Master, così da stabilire una connessione.

In fig. 4.12 e 4.13 è illustrato invece il programma implementato nel PLC Slave di sicurezza: esso presenta una struttura più semplice, in quanto il suo unico ruolo è quello di trasferire il segnale ricevuto

dal PLC Master, tramite la variabile di interfaccia di lettura importata, alle uscite del modulo STO collegate ai relé che pilotano il servo-drive e l'elettrovalvola descritti in precedenza.

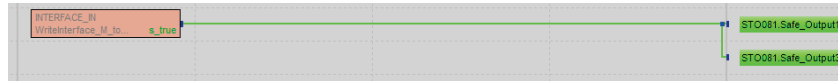


Figura 4.12: Programma implementato nel PLC Slave: fungo di emergenza non premuto.

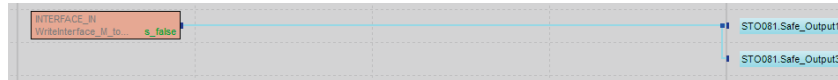


Figura 4.13: Programma implementato nel PLC Slave: fungo di emergenza premuto.

Ai fini della corretta implementazione del sistema, è necessario far sì che i range dei campi *Connection ID* e *Slave Address* siano univoci e non si sovrappongano tra i due PLC connessi, onde evitare conflitti durante la comunicazione.

#### 4.4.3 Verifica sperimentale e considerazioni

Una volta creato il *testbench* con le varie cablature e programmato i PLC con quanto descritto dalle fig. 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 è possibile effettuare la validazione sperimentale del setup implementato. In particolare, i risultati riportati di seguito fanno riferimento alla condizione in cui i due PLC risultano connessi tra loro tramite due cavi Ethernet collegati al medesimo switch.

L'elettrovalvola non è stata riportata in quanto non fornisce alcun feedback visivo, ma durante i test è stato possibile verificare il corretto funzionamento della stessa.

In fig. 4.14, 4.16 e 4.18 sono mostrate le condizioni operative dell'intero sistema quando il fungo di emergenza non è ancora stato premuto (o non sono presenti guasti nel cablaggio dello stesso): si osserva come, nel PLC Master, sia acceso il led di colore verde, mentre nello slave siano abilitati i relé, che, essendo configurati come NO, consentono il passaggio dell'alimentazione fino ai due dispositivi ad essi collegati, come mostrato dal display del servo-drive (*rdy*). In particolare, per quest'ultimo è stato necessario usare un doppio relé, poiché i due contatti STO A ed STO B devono essere gestiti separatamente per un utilizzo corretto [6].

Viceversa, in fig. 4.15, 4.17 e 4.19 è mostrata l'altra condizione operativa, con il fungo di emergenza premuto: è possibile osservare infatti l'accensione del led rosso dal lato del Master, con spegnimento di quello verde, mentre dal lato Slave si osserva lo spegnimento dei relé con conseguente cambio di stato dei dispositivi connessi, come mostrato dal display del servo-drive con la scritta **dis**.

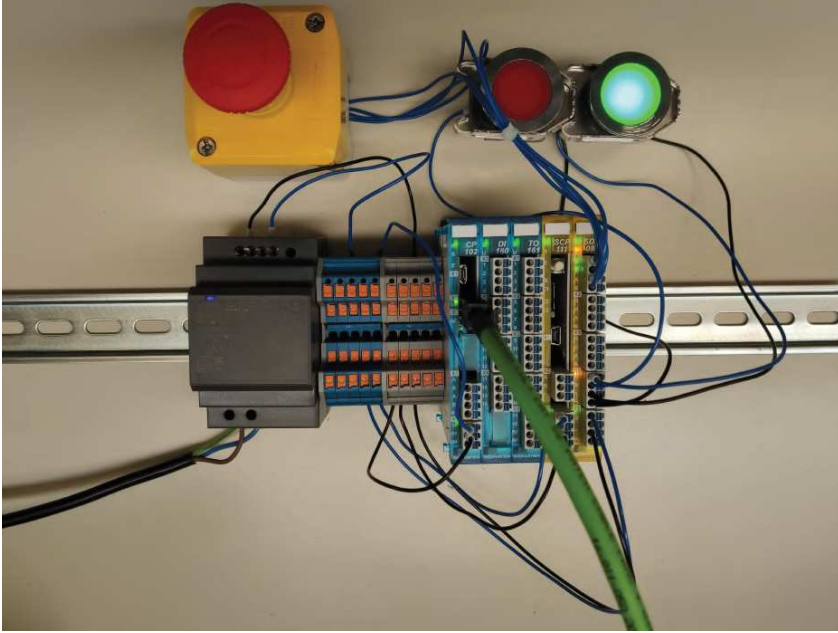


Figura 4.14: PLC Master: fungo di emergenza non premuto.

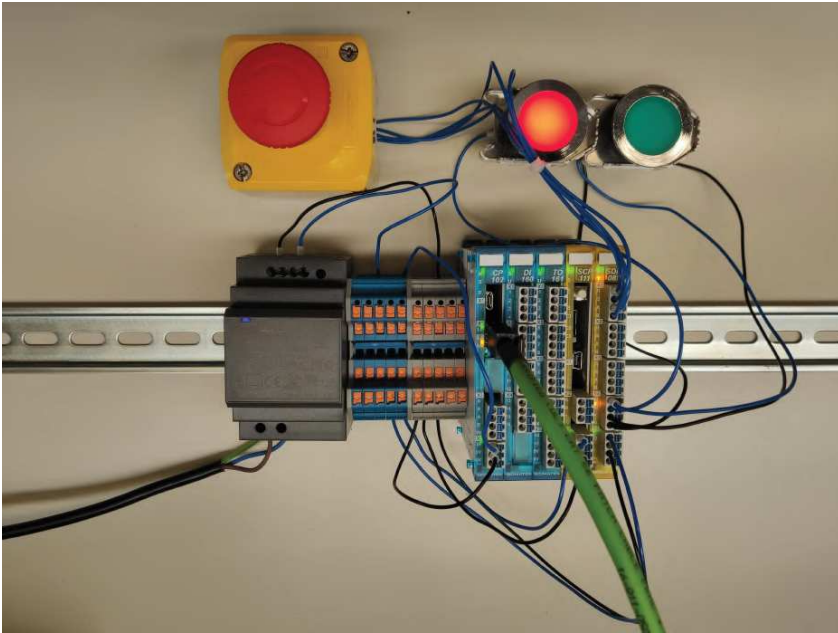


Figura 4.15: PLC Master: fungo di emergenza premuto.

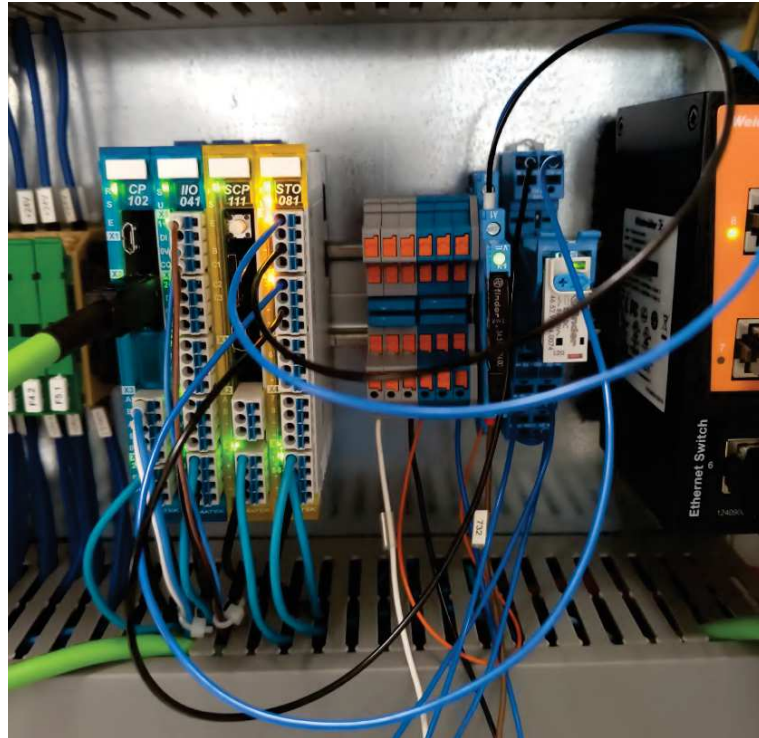


Figura 4.16: PLC Slave: fungo di emergenza non premuto.

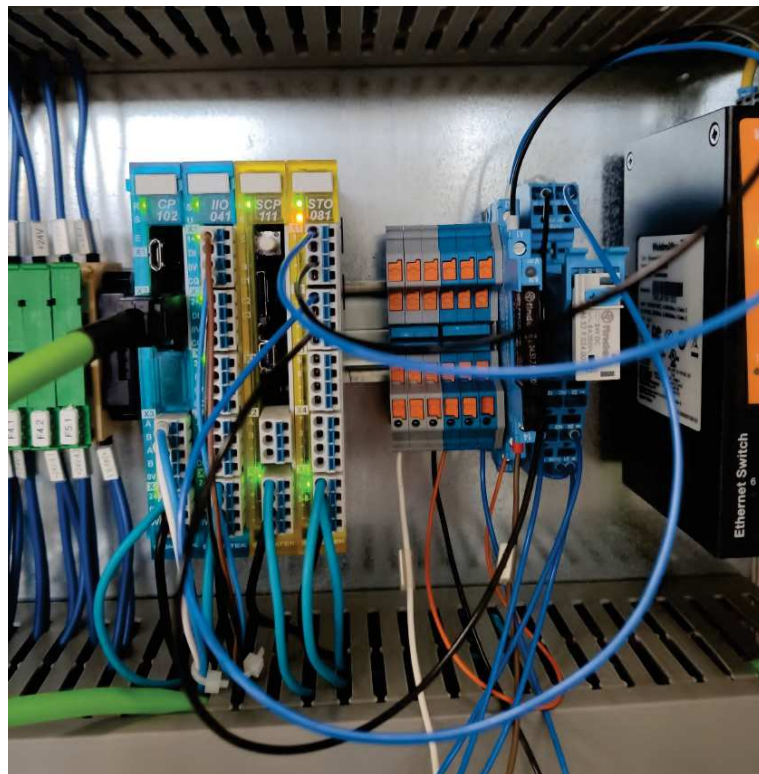


Figura 4.17: PLC Slave: fungo di emergenza premuto.





Figura 4.18: Servo-drive Lexium 32M: fungo di emergenza non premuto.



Figura 4.19: Servo-drive Lexium 32M: fungo di emergenza premuto.

In definitiva, si può considerare verificato sia il funzionamento del programma implementato che la disposizione ed il cablaggio della parte hardware. Per poter certificare opportunamente l'intera linea con un SIL2, sarebbe stato necessario l'impiego di un modulo di relé certificato, ma, purtroppo, non se ne aveva uno a disposizione.

La comunicazione FSoE via WI-FI al momento è in corso di realizzazione e consiste nel prossimo test da effettuare, una volta preparate le componenti necessarie.

## CONCLUSIONI

---

L'obiettivo di questa tesi consiste nella realizzazione del sistema di trasporto ausiliario per la movimentazione di TIS unit esauste che devono concludere il loro ciclo di vita tramite il disassemblamento e lo smaltimento presso l'Hot Cell, area dedicata all'interno della facility in costruzione secondo il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro. Esso risulta di fondamentale importanza, poiché, nonostante il periodo di 2-5 anni trascorso all'interno del TSS, le TIS unit esauste presentano comunque dei livelli di radioattività dannosi per un operatore umano.

In questa tesi è presentata la progettazione di un carrello schema-manuale, costituito da un contenitore schermato e da un carrello: dopo aver analizzato i vincoli, nascenti dal tragitto e l'interfacciamento con SP e Hot Cell, e definito le ipotesi progettuali, si è effettuata un'analisi cinematica con conseguente dimensionamento/scelta delle diverse componenti necessarie per rendere apribile la parete frontale ed avere al contempo una struttura solida e resistente, tenendo conto anche della presenza del coperchio superiore rimovibile. Terminato il contenitore, si è passati alla progettazione del carrello manuale al fine di trovare il giusto compromesso tra solidità, maneggevolezza ed ingombri. Ciascuna fase è stata affiancata dalla realizzazione in parallelo di un CAD in 3D, per validarne ingombri e fattibilità. Inoltre, per le componenti più critiche è stata effettuata un'analisi agli elementi finiti. Infine, si è testata la realizzazione di una comunicazione FSoE tramite PLC di sicurezza, per emulare quella che sarà necessario implementare tra il futuro veicolo automatico ed il sistema centrale.

Putroppo, a causa del particolare periodo, non si è riusciti ad effettuare verifiche sperimentali del funzionamento e della solidità del sistema studiato per la difficoltà riscontrata nel reperire il materiale necessario, ma, quanto meno, ciò risulta verificato dal punto di vista analitico.

Il sistema risulta predisposto per modifiche e miglioramenti futuri: sarà infatti necessario progettare il sistema di movimentazione orizzontale tale da consentire lo spostamento della TIS unit dal SP all'interno del contenitore schermato, con conseguenti modifiche alla base di appoggio interna dello stesso. Inoltre, si sta valutando la possibilità di ridurre il quantitativo di piombo presente nelle pareti per ridurre il peso, a causa della capacità di carico media riscontrata in veicoli a guida autonoma delle dimensioni necessarie.



## LISTA DEGLI ACRONIMI

---

**AGV:** Automated Guided Vehicle

**CPU:** Central Process Unit

**CRC:** Cyclic Redundancy Check

**FEA:** Finite Element Analysis

**FEM:** Finite Element Method

**HHM:** Horizontal Handling Machine

**HRMS:** High-Resolution Mass Separator

**INFN:** Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

**ISOL:** Isotope Separation On-Line

**ISOLPHARM:** ISOL technique for radioPHARMaceuticals

**LARAMED:** LABORATORI di RADIONUCLIDI per la MEDICINA

**LIS:** Laser Ion Source

**LNL:** Laboratori Nazionali di Legnaro

**NO:** Normally Opened

**NC:** Normally Closed

**PIS:** Plasma Ion Source

**PLC:** Programmable Logic Controller

**RIB:** Radioactive Ion Beam

**SHE:** Super Heavy Elements

**SIL:** Safety Integrity Level

**SIS:** Surface Ion Source

**SP:** Supply Point

**SPDT-NC/NO:** Single Pole Double Throw - Normally Closed/-  
Normally Open

**SPES:** Selective Production of Exotic Species

**STO:** Safe Torque Off

**TIS:** Target Ion Source

**TSS:** Temporary Storage System

**VARAN:** Versatile Automation Random Access Network



## APPENDICI







## RISULTATI INTERMEDI

Di seguito verrà riportata una serie di tabelle contenenti i risultati intermedi dei calcoli effettuati nel capitolo 3.

$\rho$ [°]	$C_r$ [Nmm]	$C_{cil}$ [Nmm]	$C_{mol}$ [Nmm]	$C_{tot}$ [Nmm]
0	160761.375	-127844.906	-72776.13703	-39859.66807
5	174160.9065	-139542.1455	-80043.20294	-45424.44193
10	186234.9683	-149838.6495	-86274.60086	-49878.28202
15	196891.6695	-158681.5936	-91468.1148	-53258.53554
20	206049.9063	-166039.2388	-95642.86336	-55632.19584
25	213639.9789	-171898.9503	-98829.44909	-57088.42051
30	219604.1222	-176264.9957	-101070.5915	-57731.46506
35	223896.9455	-179156.27	-102415.0304	-57674.35485
40	226485.778	-180604.0642	-102915.1646	-57033.4508
45	227350.9168	-180649.9643	-102624.8982	-55923.94559
50	226485.778	-179343.9349	-101598.0951	-54456.2521
55	223896.9455	-176742.6202	-99887.52958	-52733.20424
60	219604.1222	-172907.8719	-97544.22302	-50847.97268
65	213639.9789	-167905.5024	-94617.07138	-48882.59489
70	206049.9063	-161804.2496	-91152.68132	-46907.02459
75	196891.6695	-154674.9333	-87195.35191	-44978.61568
80	186234.9683	-146589.7825	-82787.15259	-43141.96677
85	174160.9065	-137621.9089	-77968.06137	-41429.06378
90	160761.375	-127844.906	-72776.13703	-39859.66807

Tabella A.1: Coppie in gioco nel meccanismo di apertura.

$\rho$ [°]	$R_x$ [N]	$R_z$ [Nmm]	$M_{r,x}$ [Nmm]	$M_{r,y}$ [Nmm]	$M_{r,z}$ [Nmm]
0	2397.038955	-2397.03896	-68087.0645	39859.66807	-68087.0645
5	2146.150854	-2624.06306	-74334.3937	45424.44193	-61203.5258
10	1878.357328	-2821.99666	-79824.6045	49878.28202	-53841.9777
15	1597.311182	-2990.12022	-84532.3278	53258.53554	-46092.3283
20	1306.510608	-3128.20234	-88443.642	55632.19584	-38042.121
25	1009.244895	-3236.42745	-91554.6368	57088.42051	-29775.2776
30	708.5599946	-3315.32372	-93869.9697	57731.46506	-21371.2504
35	407.240502	-3365.69526	-95401.4946	57674.35485	-12904.5126
40	107.8045002	-3388.56083	-96167.0129	57033.4508	-4444.31651
45	187.4920187	-3385.10026	-96189.1719	55923.94559	-3945.34826
50	574.9687448	-3356.6088	-95494.5175	54456.2521	-10042.5099
55	953.7829045	-3304.45931	-94112.6963	52733.20424	-15972.9156
60	1321.63934	-3230.0714	-92075.7961	50847.97268	-21703.7577
65	1676.452013	-3134.88705	-89417.808	48882.59489	-27206.4128
70	2016.329957	-3020.35167	-86174.1953	46907.02459	-32456.0298
75	2339.563609	-2887.89995	-82381.5508	44978.61568	-37431.1273
80	2644.611933	-2738.94552	-78077.3285	43141.96677	-42113.2102
85	2930.090621	-2574.87407	-73299.6342	41429.06378	-46486.4124
90	3194.76147	-2397.03896	-68087.0645	39859.66807	-50537.1691

Tabella A.2: Reazioni vincolari in salita.

$\rho$ [°]	$R_x$ [N]	$R_z$ [Nmm]	$M_{r,x}$ [Nmm]	$M_{r,y}$ [Nmm]	$M_{r,z}$ [Nmm]
0	1863.880442	-1863.88044	-57423.8942	-32916.46896	-57423.8942
5	1672.173585	-2037.66597	-62606.4519	-34618.76101	-51723.9804
10	1467.223684	-2189.94831	-67183.6373	-36396.31884	-45619.3048
15	1251.648965	-2320.0205	-71130.3334	-38210.07594	-39179.084
20	1028.009095	-2427.52202	-74430.0356	-40010.66752	-32472.0908
25	798.7611396	-2512.40218	-77074.1314	-41741.02857	-25565.6025
30	566.2264427	-2574.87983	-79061.0918	-43339.12646	-18524.5794
35	332.5677538	-2615.402	-80395.6293	-44740.67557	-11411.0576
40	99.77544339	-2634.60359	-81087.8679	-45881.71378	-4283.73537
45	130.3385877	-2633.2695	-81152.5568	-46700.95257	-2802.27964
50	454.4655424	-2612.30041	-80608.3497	-47141.84303	-7632.44582
55	772.0722724	-2572.68254	-79477.1609	-47154.32534	-12338.7029
60	1081.121176	-2515.46171	-77783.6022	-46696.25034	-16893.3944
65	1379.740392	-2441.72169	-75554.5008	-45734.47649	-21272.1804
70	1666.217244	-2352.56646	-72818.491	-44245.65673	-25453.7755
75	1938.990896	-2249.10616	-69605.6751	-42216.73623	-29419.673
80	2196.64473	-2132.44623	-65947.3428	-39645.18582	-33153.8661
85	2437.898848	-2003.67948	-61875.7424	-36538.99759	-36642.5769
90	2661.602957	-1863.88044	-57423.8942	-32916.46896	-39873.9989

Tabella A.3: Reazioni vincolari in discesa.

$\rho$ [°]	$N$ [N]	$T$ [N]	$M_{f,vert}$ [Nmm]	$M_t$ [Nmm]	$M_{f,lat}$ [Nmm]
0	-2397.038955	134.2972554	95573.0329	68087.06447	68087.06447
5	-2146.150854	154.2905719	102835.1208	74334.3937	61203.52578
10	-1878.357328	169.9851685	109564.5295	79824.60446	53841.97767
15	-1597.311182	181.5964382	115683.2568	84532.32779	46092.32834
20	-1306.510608	189.4547527	121111.2365	88443.64195	38042.12103
25	-1009.244895	193.968153	125769.7304	91554.63679	29775.27764
30	-708.5599946	195.5892834	129584.3252	93869.96972	21371.25041
35	-407.240502	194.7878298	132487.4275	95401.49461	12904.51259
40	-107.8045002	192.0287253	134420.2364	96167.01288	4444.316508
45	-187.4920187	187.7557558	135334.2189	96189.17187	3945.348256
50	-574.9687448	182.3798649	135192.1452	95494.51746	10042.50987
55	-953.7829045	176.2713402	133968.7467	94112.69632	15972.91558
60	-1321.63934	169.755082	131651.0613	92075.79608	21703.75772
65	-1676.452013	163.108243	128238.5232	89417.80796	27206.41281
70	-2016.329957	156.5596462	123742.845	86174.19525	32456.02979
75	-2339.563609	150.2905072	118187.7313	82381.55083	37431.12727
80	-2644.611933	144.436097	111608.4552	78077.32852	42113.21018
85	-2930.090621	139.0880695	104051.321	73299.63415	46486.41238
90	-3194.76147	134.2972554	95573.0329	68087.06447	50537.16914

Tabella A.4: Sforzi agenti sulla sezione del braccio in corrispondenza dell'attacco del cilindro (salita).

$\rho$ [°]	$N$ [N]	$T$ [N]	$M_{f,vert}$ [Nmm]	$M_t$ [Nmm]	$M_{f,lat}$ [Nmm]
0	-1863.880442	1863.880442	138225.7139	57423.89421	57423.89421
5	-1672.173585	2037.665967	149746.8881	62606.45188	51723.9804
10	-1467.223684	2189.948305	160128.3981	67183.6373	45619.30479
15	-1251.648965	2320.020501	169291.2342	71130.33344	39179.084
20	-1028.009095	2427.522024	177165.6619	74430.0356	32472.09078
25	-798.7611396	2512.402182	183691.7519	77074.13142	25565.60254
30	-566.2264427	2574.879827	188819.8367	79061.09184	18524.57937
35	-332.5677538	2615.402	192510.8886	80395.62935	11411.05763
40	-99.77544339	2634.603585	194736.8163	81087.86789	4283.735371
45	-130.3385877	2633.2695	195480.6793	81152.55675	2802.279636
50	-454.4655424	2612.300412	194736.8163	80608.34968	7632.445823
55	-772.0722724	2572.682535	192510.8886	79477.16085	12338.70294
60	-1081.121176	2515.461706	188819.8367	77783.60223	16893.39443
65	-1379.740392	2441.721688	183691.7519	75554.5008	21272.18038
70	-1666.217244	2352.566463	177165.6619	72818.49103	25453.77553
75	-1938.990896	2249.10616	169291.2342	69605.6751	29419.67302
80	-2196.64473	2132.446235	160128.3981	65947.34279	33153.8661
85	-2437.898848	2003.679479	149746.8881	61875.74238	36642.57691
90	-2661.602957	1863.880442	138225.7139	57423.89421	39873.99888

Tabella A.5: Sforzi agenti sulla sezione del braccio in corrispondenza dell'attacco della molla (discesa).

$\rho$ [°]	$\eta_{Fp}$ [mm]	$\eta_{Fc}$ [mm]	$\eta_{Fm}$ [mm]	$\eta_{sal}$ [mm]	$\eta_{dis}$ [mm]
0	0.39810496	-0.081216993	-0.063459475	0.253428492	0.334645485
5	0.431287184	-0.089326921	-0.069265734	0.272694529	0.36202145
10	0.461187052	-0.09628106	-0.074376698	0.290529293	0.386810354
15	0.487577008	-0.102077492	-0.078766146	0.306733369	0.408810861
20	0.510256209	-0.10673589	-0.082418324	0.321101995	0.427837884
25	0.529052051	-0.110292068	-0.085326959	0.333433024	0.443725092
30	0.543821489	-0.112793146	-0.087494171	0.343534171	0.456327318
35	0.554452116	-0.114293519	-0.088929338	0.35122926	0.465522778
40	0.560863028	-0.11485166	-0.089647992	0.356363376	0.471215036
45	0.563005434	-0.114527728	-0.089670775	0.358806931	0.473334658
50	0.560863028	-0.113381832	-0.08902249	0.358458705	0.471840537
55	0.554452116	-0.111472868	-0.087731253	0.355247994	0.466720862
60	0.543821489	-0.108857776	-0.085827766	0.349135946	0.457993722
65	0.529052051	-0.105591122	-0.083344697	0.340116232	0.445707354
70	0.510256209	-0.101724919	-0.080316166	0.328215123	0.429940042
75	0.487577008	-0.097308603	-0.076777326	0.313491078	0.410799682
80	0.461187052	-0.092389124	-0.07276403	0.296033897	0.388423022
85	0.431287184	-0.087011096	-0.06831257	0.275963518	0.362974614
90	0.39810496	-0.081216993	-0.063459475	0.253428492	0.334645485

Tabella A.6: Deformazioni dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per le  $F_{ort}$ .

$\rho$ [°]	$\eta_{Mp}$ [mm]	$\eta_{Mc}$ [mm]	$\eta_{Mm}$ [mm]	$\eta_{sal}$ [mm]	$\eta_{dis}$ [mm]
0	0.130380206	0.044571062	0.100799705	0.275750972	0.23117991
5	0.118520686	0.039623619	0.090643401	0.248787706	0.209164087
10	0.105759152	0.034370009	0.079774224	0.219903386	0.185533376
15	0.092192728	0.028896719	0.068322046	0.189411493	0.160514774
20	0.077924661	0.023282209	0.056414965	0.157621835	0.134339625
25	0.06306354	0.017596051	0.044177235	0.124836826	0.107240775
30	0.047722467	0.011898821	0.03172768	0.091348968	0.079450148
35	0.032018198	0.006242503	0.019178558	0.057439259	0.051196756
40	0.016070251	0.000671214	0.006634822	0.023376287	0.022705073
45	0	0.004777921	0.005806271	0.010584192	0.005806271
50	-0.016070251	0.010073844	0.018055282	0.012058875	0.001985031
55	-0.032018198	0.015190671	0.030030501	0.013202974	-0.001987698
60	-0.047722467	0.020106872	0.041657697	0.014042102	-0.00606477
65	-0.06306354	0.024804541	0.052869773	0.014610774	-0.010193767
70	-0.077924661	0.029268773	0.063606344	0.014950456	-0.014318317
75	-0.092192728	0.033487135	0.073813292	0.015107699	-0.018379436
80	-0.105759152	0.037449226	0.083442308	0.015132382	-0.022316844
85	-0.118520686	0.041146318	0.092450448	0.015076081	-0.026070238
90	-0.130380206	0.044571062	0.100799705	0.014990561	-0.029580501

Tabella A.7: Deformazioni dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per i  $M_{f,lat}$ .

$\rho$ [°]	$\eta_{z,Mp}$ [mm]	$\eta_{z,Mc}$ [mm]	$\eta_{z,Mm}$ [mm]	$\eta_{z,sal}$ [mm]	$\eta_{z,dis}$ [mm]
0	0.00614045	0.001263528	0.002552567	0.009956544	0.008693016
5	0.006652259	0.001389697	0.002786115	0.010828072	0.009438374
10	0.007113441	0.001497886	0.002991696	0.011603023	0.010105137
15	0.007520485	0.001588064	0.003168255	0.012276804	0.01068874
20	0.007870293	0.001660536	0.003315159	0.012845988	0.011185452
25	0.008160204	0.001715861	0.003432155	0.01330822	0.011592359
30	0.008388011	0.001754772	0.003519328	0.01366211	0.011907338
35	0.00855198	0.001778114	0.003577055	0.013907148	0.012129035
40	0.008650863	0.001786797	0.003605962	0.014043622	0.012256825
45	0.008683908	0.001781757	0.003606879	0.014072543	0.012290786
50	0.008650863	0.00176393	0.003580802	0.013995595	0.012231665
55	0.00855198	0.001734232	0.003528864	0.013815075	0.012080844
60	0.008388011	0.001693547	0.003452299	0.013533857	0.01184031
65	0.008160204	0.001642727	0.003352421	0.013155352	0.011512625
70	0.007870293	0.001582578	0.003230603	0.012683474	0.011100896
75	0.007520485	0.001513872	0.003088258	0.012122615	0.010608743
80	0.007113441	0.001437337	0.002926829	0.011477607	0.01004027
85	0.006652259	0.001353669	0.002747775	0.010753704	0.009400034
90	0.00614045	0.001263528	0.002552567	0.009956544	0.008693016

Tabella A.8: Deformazioni lungo l'asse  $z$  dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per i  $M_t$ .



$\rho$ [°]	$\eta_{y,Mp}$ [mm]	$\eta_{y,Mc}$ [mm]	$\eta_{y,Mm}$ [mm]	$\eta_{y,sal}$ [mm]	$\eta_{y,dis}$ [mm]
0	0.0122809	0.002527056	0.005105133	0.019913089	0.017386033
5	0.013304518	0.002779395	0.00557223	0.021656143	0.018876748
10	0.014226881	0.002995772	0.005983392	0.023206046	0.020210274
15	0.015040969	0.003176127	0.006336511	0.024553607	0.02137748
20	0.015740586	0.003321073	0.006630318	0.025691977	0.022370904
25	0.016320408	0.003431723	0.00686431	0.02661644	0.023184717
30	0.016776021	0.003509543	0.007038656	0.02732422	0.023814677
35	0.017103959	0.003556227	0.007154111	0.027814297	0.02425807
40	0.017301725	0.003573594	0.007211924	0.028087243	0.02451365
45	0.017367815	0.003563515	0.007213757	0.028145087	0.024581572
50	0.017301725	0.00352786	0.007161604	0.02799119	0.02446333
55	0.017103959	0.003468463	0.007057728	0.02763015	0.024161687
60	0.016776021	0.003387095	0.006904598	0.027067714	0.023680619
65	0.016320408	0.003285453	0.006704842	0.026310703	0.02302525
70	0.015740586	0.003165157	0.006461206	0.025366949	0.022201792
75	0.015040969	0.003027744	0.006176516	0.024245229	0.021217485
80	0.014226881	0.002874675	0.005853658	0.022955214	0.020080539
85	0.013304518	0.002707338	0.005495551	0.021507407	0.018800069
90	0.0122809	0.002527056	0.005105133	0.019913089	0.017386033

Tabella A.9: Deformazioni lungo l'asse  $y$  dell'estremo del braccio in corrispondenza dell'estremo "libero" per i  $M_t$ .

$\rho$ [°]	$M_{f,x}$ [Nmm]	$M_{f,z}$ [Nmm]	$M_{f,rad}$ [Nmm]	$d_{min}$ [mm]
0	120821.9215	120821.9215	170868	24.18718038
5	108418.8446	132063.781	170866.8725	24.18712718
10	95165.83888	141908.5311	170864.1802	24.18700014
15	81233.17434	150314.9726	170860.8194	24.18684156
20	66785.3544	157264.0935	170857.4805	24.18668401
25	51978.66533	162756.0407	170854.6471	24.18655031
30	36959.57029	166807.0916	170852.6138	24.18645436
35	21863.80363	169446.7904	170851.5165	24.18640258
40	6816.015514	170715.3512	170851.3659	24.18639547
45	8070.172668	170661.3775	170852.0806	24.1864292
50	22691.82226	169339.9111	170853.517	24.18649698
55	36956.13948	166810.8011	170855.4934	24.18659024
60	50779.82321	163137.3668	170857.809	24.18669951
65	64088.3571	158385.323	170860.2588	24.18681511
70	76815.28885	152621.9321	170862.6429	24.1869276
75	88901.52666	145915.3497	170864.7732	24.18702812
80	100294.6727	138334.13	170866.4768	24.18710851
85	110948.406	129946.8636	170867.5984	24.18716143
90	120821.9215	120821.9215	170868	24.18718038

Tabella A.10: Momenti scaricati dal perno sul sarcofago.

$\rho$ [°]	$\tau_{u,x}$ [MPa]	$\tau_{u,z}$ [MPa]	$\tau_u$ [MPa]	$b_{min}$ [mm]	$h_{min}$ [mm]
0	184.691244	184.6912	261.192862	5.096446088	7.207463178
5	165.682136	201.9168	261.1914363	5.096418268	7.207423835
10	145.373361	216.9926	261.188075	5.096352683	7.207331083
15	124.028021	229.8567	261.1839513	5.096272221	7.207217292
20	101.899986	240.4815	261.1799466	5.09619408	7.207106785
25	79.2300974	248.8691	261.1766544	5.096129841	7.207015937
30	56.2436812	255.0465	261.1744119	5.096086086	7.206954058
35	33.1491659	259.0611	261.1733471	5.096065309	7.206924675
40	10.1375576	260.9766	261.1734296	5.096066919	7.206926952
45	12.6174406	260.8696	261.1745195	5.096088186	7.206957028
50	35.9684607	258.8262	261.313462	5.098799259	7.210791063
55	58.7570994	254.9399	261.6232648	5.104844192	7.21933989
60	80.8494234	249.3091	262.0909072	5.113968921	7.232244206
65	102.125285	242.0357	262.6991515	5.125837103	7.249028349
70	122.477226	233.2236	263.4272927	5.140044736	7.269120977
75	141.809399	222.978	264.251948	5.156135572	7.291876855
80	160.036559	211.4041	265.1478558	5.173616698	7.316598901
85	177.083121	198.607	266.0886566	5.191973788	7.342559747
90	192.882307	184.6912	267.0476363	5.210685586	7.369022225

Tabella A.11: Altezze di saldatura richieste per la connessione tra perno del braccio e sarcofago.



## APPROFONDIMENTI

### B.1 STUDIO DI UNA TRAVE A DOPPIO INCASTRO

Si consideri la trave a doppio incastro di lunghezza  $l$  mostrata in fig. B.1 sollecitata con una forza  $F$  concentrata al centro.

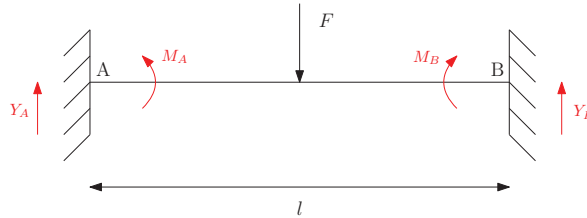


Figura B.1: Trave a doppio incastro.

Per procedere con la risoluzione, è necessario impostare le equazioni di equilibrio statico:

$$\begin{cases} \Sigma Y = 0 \rightarrow Y_A - F + Y_B = 0 \\ \Sigma M^{(A)} = 0 \rightarrow -M_A + F\frac{l}{2} - Y_B l + M_B = 0 \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

Al momento si ha un sistema di 2 equazioni in 4 incognite, non risolvibile in maniera univoca. Al contempo, però, è possibile osservare come la struttura mostrata in fig. B.1 sia iperstatica: è possibile quindi sostituire i due vincoli ad incastro con due appoggi, rendendo la struttura isostatica (fig. B.2), ed aggiungere due equazioni di congruenza:

$$\begin{cases} \phi_A = 0 \\ \phi_B = 0 \end{cases} \quad (\text{B.2})$$

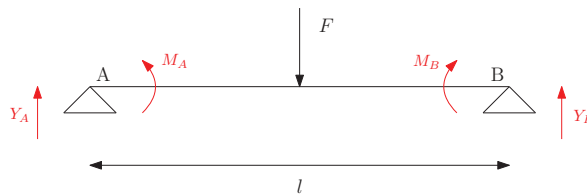


Figura B.2: Trave a doppio appoggio equivalente.

Calcolando i singoli contributi alla rotazione nei due punti dovuti alla forza  $F$  e ai momenti  $M_A$  ed  $M_B$ , è possibile riscrivere le equazioni B.3 applicando la sovrapposizione degli effetti si ottiene:

$$\begin{cases} \phi_A = \frac{Fl^2}{16EJ} - \frac{M_A l}{3EJ} - \frac{M_B l}{6EJ} = 0 \\ \phi_B = -\frac{Fl^2}{16EJ} + \frac{M_A l}{6EJ} + \frac{M_B l}{3EJ} = 0 \end{cases} \quad (\text{B.3})$$

Per questioni di simmetria,  $M_A = M_B$ . Noto ciò, è possibile sviluppare la prima equazione di congruenza, ottenendo:

$$\frac{Fl}{16} - \frac{M_A}{3} - \frac{M_A}{6} = 0 \rightarrow \frac{Fl}{16} = \frac{1}{2}M_A \rightarrow M_A = \frac{Fl}{8} \quad (\text{B.4})$$

Inoltre, dall'equazione di equilibrio dei momenti, si ottiene:

$$-M_A + F\frac{l}{2} - Y_B l + M_A = 0 \rightarrow F\frac{l}{2} - Y_B l = 0 \rightarrow Y_B = \frac{F}{2} \quad (\text{B.5})$$

Sostituendo il risultato appena trovato nell'equazione di equilibrio delle forze in y, si ottiene:

$$Y_A + \frac{F}{2} - F = 0 \rightarrow Y_A - \frac{F}{2} \rightarrow Y_A = \frac{F}{2} \quad (\text{B.6})$$

La trave è completamente risolta.

In fig. B.3 e fig. B.4 sono illustrati i diagrammi di, rispettivamente, sforzo di taglio e momento flettente.

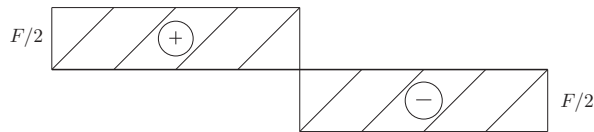


Figura B.3: Diagramma dello sforzo di taglio di una trave a doppio incastro.

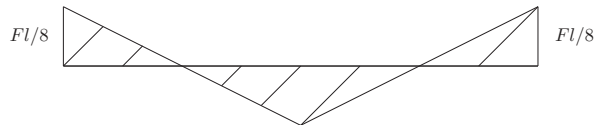


Figura B.4: Diagramma del momento flettente di una trave a doppio incastro.

# C

## DATASHEET

In questa appendice sono riportati i datasheet dei componenti utilizzati, riassunti in tab. C.1.

Codice prodotto	Descrizione	Datasheet associato
<b>DSBC-40-200-PPVA-N3</b>	Cilindro pneumatico	<a href="#">C.2</a>
<b>SGS-M12X1.25</b>	Snodo sferico	<a href="#">C.3</a>
<b>SNCS-40</b>	Flangia oscillante	<a href="#">C.4</a>
<b>SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D</b>	Sensore di finecorsa	<a href="#">C.5</a>
<b>NEBU-M8G3-K-2.5-LE3</b>	Cavo di collegamento	<a href="#">C.6</a>
<b>GRLA-1/4-QS-8-D</b>	Regolatore di portata	<a href="#">C.7</a>
<b>WM-G-40-100 (41)</b>	Molla a gas	<a href="#">C.9</a>
<b>K4G4</b>	Snodi sferici molla	<a href="#">C.10</a>
<b>4205 ATN9</b>	Cuscinetto a sfere a due corone	<a href="#">C.11</a>
<b>61900</b>	Cuscinetto a sfere a singola corona	<a href="#">C.12</a>
<b>JBHD5-5</b>	Boccola	<a href="#">C.13</a>
<b>AGOLFM20</b>	Golfare DIN 580	<a href="#">C.14</a>
<b>727-6087</b>	Guarnizione EPDM	<a href="#">C.15</a>
<b>Delta, 3642IEP160P63</b>	Ruote	<a href="#">C.16</a>
<b>MP320-1SM27</b>	Switch	<a href="#">C.17</a>
<b>MP320-5MAL</b>	Switch	<a href="#">C.17</a>
<b>MX2-1/2V1621FC</b>	Elettrovalvola di sicurezza	<a href="#">C.18</a>

Tabella C.1: Tabella riassuntiva dei componenti utilizzati.

## C.1 PRESSIONE-FORZA CILINDRO PNEUMATICO

Informazioni &gt; Informazioni tecniche &gt;

## Tabella pressione-forza

FESTO

Forza pistone [N] ∅	Pressione d'esercizio [bar]							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2,5	0,4	0,9	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,5
3,5	0,9	1,7	3,8	3,5	4,3	5,2	6,1	6,9
5,35	2	4	6,1	8,1	10,1	12,1	14,2	16,2
6	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4
8	4,5	9	13,6	18,1	22,6	27,1	31,7	36,2
10	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5	56,5
12	10,2	20,4	30,5	40,7	50,9	61,0	71,3	81,4
16	18,1	36,5	54,3	72,4	90,5	109	127	145
20	28,3	56,5	84,8	113	141	170	198	226
25	44,2	88,4	133	177	221	265	309	353
32	72,4	145	217	290	362	434	507	579
40	113	226	339	452	565	679	792	905
50	177	353	530	707	884	1060	1240	1410
63	281	561	842	1120	1400	1680	1960	2240
80	452	905	1360	1810	2260	2710	3170	3620
100	707	1410	2120	2830	3530	4240	4950	5650
125	1100	2210	3310	4420	5520	6630	7730	8840
160	1810	3620	5430	7240	9050	10900	12700	14500
200	2830	5650	8480	11300	14100	17000	19800	22600
250	4420	8840	13300	17700	22100	26500	30900	35300
320	7240	14500	21700	29000	36200	43400	50700	57900

Forza pistone [N] ∅	Pressione d'esercizio [bar]						
	9	10	11	12	13	14	15
2,5	4	4,4	4,9	5,3	5,7	6,2	6,6
3,5	7,8	8,7	9,5	10,4	11,3	12,1	13
5,35	18,2	20,2	22,2	24,3	26,3	28,3	30,3
6	22,9	25,4	28	30,5	33,1	35,6	38,2
8	40,7	45,2	49,8	54,3	58,8	63,3	67,9
10	63,6	70,7	77,8	84,8	91,9	99	106
12	91,6	101	112	122	132	143	153
16	163	181	199	217	235	253	271
20	254	283	311	339	368	396	424
25	398	442	486	530	574	619	663
32	651	724	796	869	941	1010	1090
40	1020	1130	1240	1360	1470	1580	1700
50	1590	1770	1940	2120	2300	2470	2650
63	2520	2810	3090	3370	3650	3930	4210
80	4070	4520	4980	5430	5880	6330	6790
100	6360	7070	7780	8480	9190	9900	10600
125	9940	11000	12100	13300	14400	15500	16600
160	16300	18100	19900	21700	23500	25300	27100
200	25400	28300	31100	33900	36800	39600	42400
250	39800	44200	48600	53000	57400	61900	66300
320	65100	72400	79600	86900	94100	101000	109000

La forza del pistone F può essere determinata con le seguenti formule sulla base della superficie del pistone A, della pressione d'esercizio p e dell'attrito R:

forza del pistone (pressione finale)

$$F = p \cdot A - R$$

$$F = p \cdot 10 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} - R$$

p = pressione d'esercizio [bar]

d = alesaggio [cm]

R = attrito -10% [N]

A = superficie pistone [cm<sup>2</sup>]

F = forza effettiva del pistone [N]

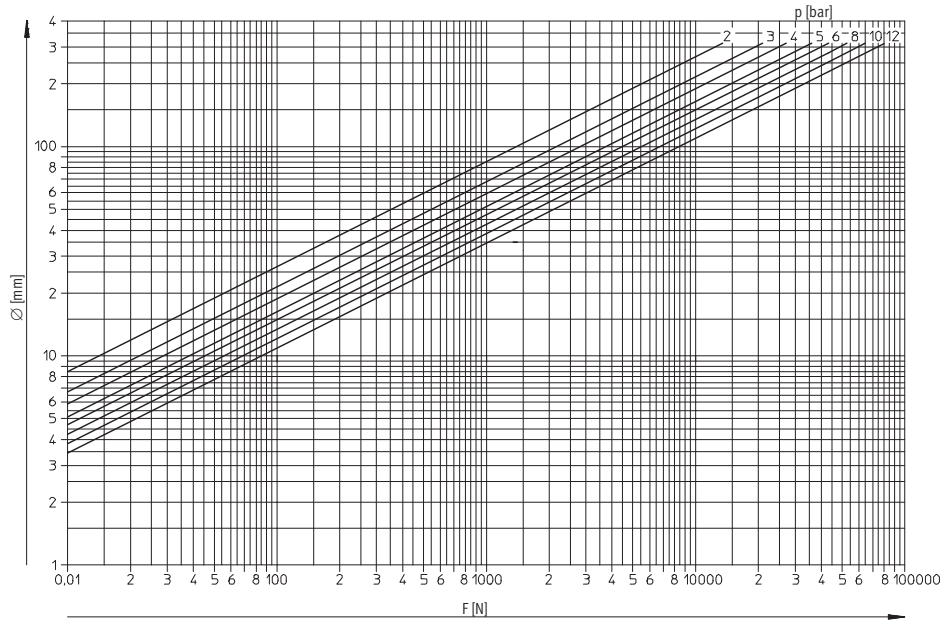
Software di dimensionamento Pneu su DVD e [www.festo.com](http://www.festo.com)





**Pressione d'esercizio p in funzione dell'alesaggio e della forza F**

È stata considerata una forza di attrito pari al 10% circa



**Dati disponibili:**

Carico 800 N  
Pressione di alimentazione disponibile  
6 bar

**Valore da determinare:**

Alesaggio necessario  
Pressione d'esercizio richiesta

**Procedura:**

Seguire la linea  $F = 800\text{ N}$  perpendicolarmente verso l'alto fino ad intersecare la linea corrispondente alla pressione di 6 bar. L'alesaggio immediatamente maggiore di 50 mm si trova tra le linee 4 e 5 bar, quindi la pressione d'esercizio deve essere regolata a circa 4,5 bar.

I fattori determinanti per la scelta degli attuatori pneumatici sono soprattutto le forze da contrastare e le corse da effettuare. La forza di spinta del pistone viene assorbita in piccola parte per superare l'attrito, la forza rimanente viene utilizzata per la movimentazione del carico. Il diagramma può rappresentare solo valori di massima, dato che la forza di

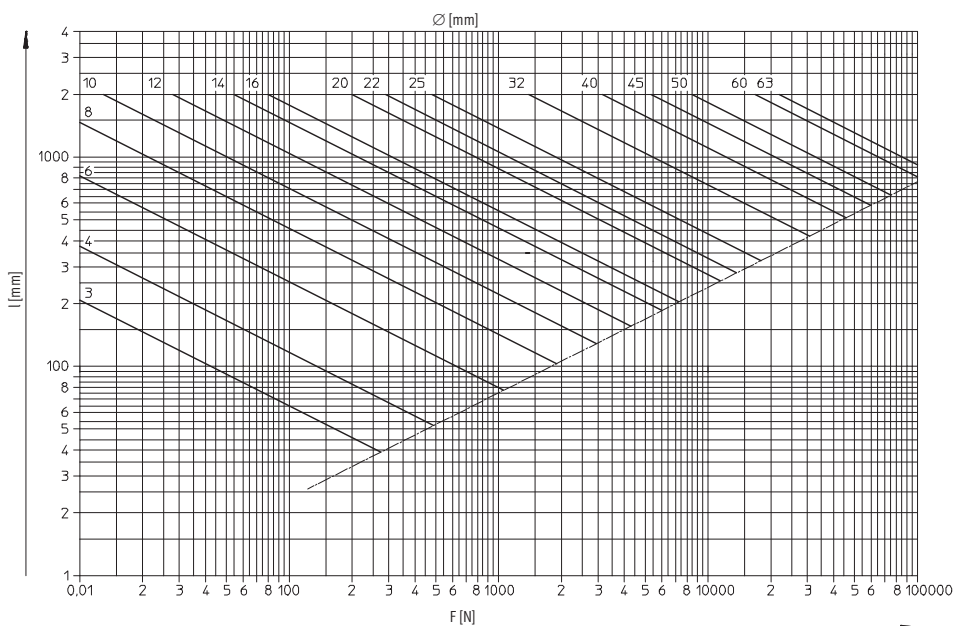
attrito varia in funzione di diversi fattori (lubrificazione, pressione d'esercizio, contropressione, forma delle guarnizioni, ecc.). La contropressione genera una forza contraria che riduce parzialmente la forza utile. Tale contropressione viene a crearsi soprattutto nel caso di strozzatura dello scarico o di aumento della pressione dinamica nell'attacco di scarico.



## Diagramma del carico di punta

FESTO

Diametro dello stelo in funzione della corsa l e della forza F



Dati disponibili:  
Carico 800 N  
Corsa 500 mm  
Alesaggio 50 mm

Valore da determinare:  
Diametro dello stelo  
Tipo cilindro: cilindro a norma

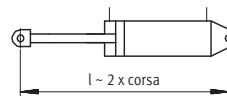
Procedura:  
Seguire la linea  $F = 800$  N perpendicolarmente verso l'alto fino ad intersecare la linea orizzontale  $l = 500$  mm. Diametro dello stelo immediatamente superiore nel diagramma: 16 mm. Per questa corsa è indicato il cilindro DNC-50-500 a norma, con diametro dello stelo di 20 mm.

Nel caso di corse lunghe, il carico applicabile allo stelo è inferiore al carico massimo calcolato in base alla pressione d'esercizio e alla superficie di spinta del pistone, a causa della diminuzione della resistenza al carico di punta. Il carico non deve superare determinati valori massimi. Questi valori variano in funzione della corsa e del diametro dello stelo.

Il diagramma riporta questa funzione secondo la formula:

$$F_K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2 \cdot S}$$

$F_K$  = carico di punta ammissibile [N]  
 $E$  = modulo di elasticità [N/mm<sup>2</sup>]  
 $J$  = momento di inerzia [cm<sup>4</sup>]  
 $l$  = lunghezza libera  
= 2x corsa [cm]  
 $S$  = fattore di sicurezza (scelto: 5)



### Attenzione

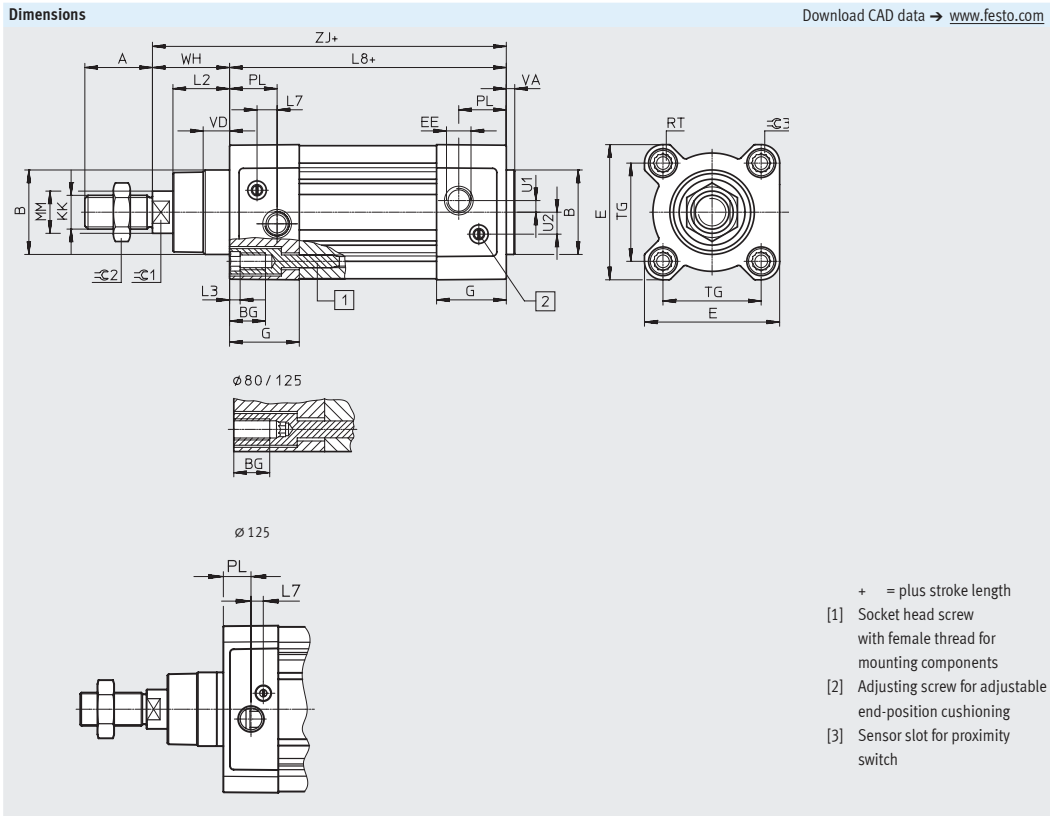
Per questo tipo di sollecitazione il fissaggio meno adatto è il fissaggio a cerniera. Con altri tipi di fissaggio, il carico ammissibile è maggiore.



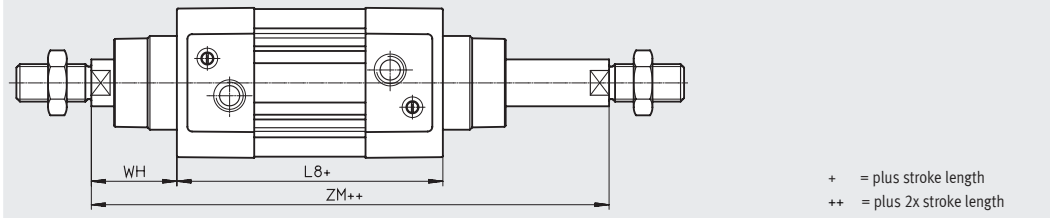
C.2 CILINDRO DSBC

Standards-based cylinders DSBC, ISO 15552

Data sheet



Variant  
T – Through piston rod



## Data sheet

∅ [mm]	A -0.5	B ∅ d11	BG min.	E +0.5	EE	G -0.2	U2 ±0.1	U1 ±0.1	KK
32	22	30	16	45	G1/8	28	5.7	5.25	M10x1.25
40	24	35	16	54	G1/4	33	8	4	M12x1.25
50	32	40	16	64	G1/4	33	10.4	5.5	M16x1.5
63	32	45	16	75	G3/8	40.5	12.75	6.25	M16x1.5
80	40	45	17	93	G3/8	43	12.5	8	M20x1.5
100	40	55	17	110	G1/2	48	13.5	10	M20x1.5
125	54	60	20	136	G1/2	44.7	13	8	M27x2

∅ [mm]	L2	L3 max.	L7	L8 ±0.4	MM ∅	PL ±0.1	RT	TG ±0.3
32	18 <sub>-0.2</sub>	5	6.5	94	12	19.5	M6	32.5
40	21.3 <sub>-0.2</sub>	5	7.5	105	16	22.5	M6	38
50	26.8 <sub>-0.2</sub>	5	9.5	106	20	22.5	M8	46.5
63	27 <sub>-0.2</sub>	5	9	121	20	27.5	M8	56.5
80	34.2 <sub>-0.2</sub>	-	11	128	25	30	M10	72
100	38 <sub>-0.2</sub>	-	7.5	138	25	31.5	M10	89
125	45.5 <sub>-0.3</sub>	-	10	160	32	22.5	M12	110

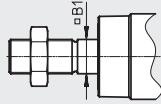
∅ [mm]	VA	VD +0.5	WH +2.2	ZJ +1.8	ZM +1	≈G1	≈G2	≈G3
32	4 <sub>-0.2</sub>	10	25	119.1	146.1	10	16	6
40	4 <sub>-0.2</sub>	10.5	28.7	133.9	164.8	13	18	6
50	4 <sub>-0.2</sub>	11.5	35.6	141.8	179.8	17	24	8
63	4 <sub>-0.2</sub>	15	35.9	157.1	195.4	17	24	8
80	4 <sub>-0.2</sub>	15.7	45.4	173.6	221	22	30	6
100	4 <sub>-0.2</sub>	19.2	49.3	187.5	238.8	22	30	6
125	6 <sub>-0.3</sub>	20.5	64.1	225	290	27	41	8

Data sheet

Dimensions – Variants

Download CAD data → [www.festo.com](http://www.festo.com)

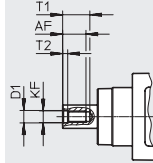
Q – With protection against rotation



- - **Note**

In combination with variant T, the piston rod is protected against rotation at one end.

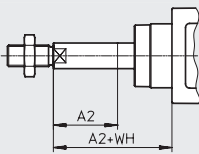
F – Female thread



- - **Note**

In combination with variant T, the piston rod has female threads at both ends.

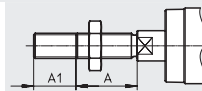
...E – Extended piston rod



- - **Note**

Piston rod thread is extended at one end in combination with the variant T. Piston rod extension only at the square piston rod in combination with the variants T and Q

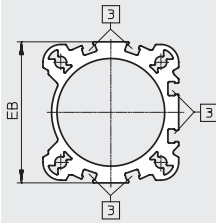
...L – Extended piston rod thread



- - **Note**

Piston rod thread is extended at both ends in combination with variant T.

D3 – Sensor slot on 3 sides



[3] Sensor slot for proximity switch

## Data sheet

ø [mm]	A	A1		A2		AF min.
		min.	max.	min.	max.	
32	22	1	35	1	500	12
40	24	1	35	1	500	12
50	32	1	70	1	500	16
63	32	1	70	1	500	16
80	40	1	70	1	500	20
100	40	1	70	1	500	20
125	54	1	70	1	500	32

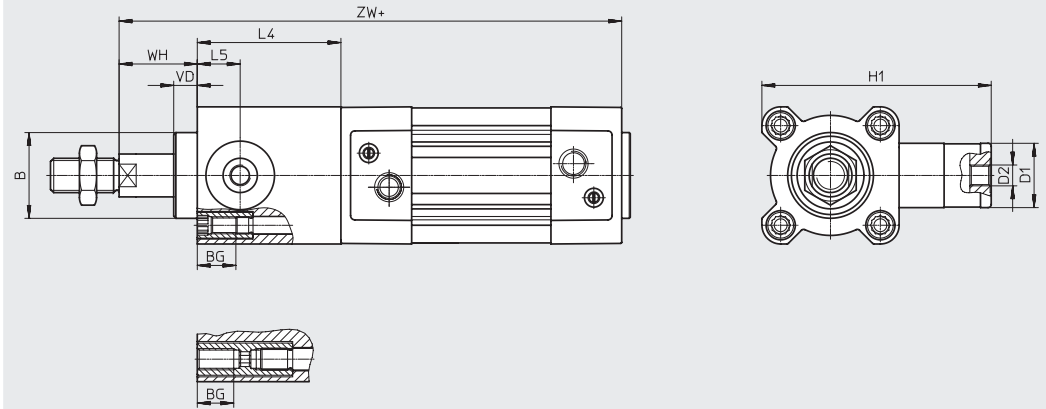
ø [mm]	B1	D1	EB	KF	T1 max.	T2	WH +2.2
40	12	8.4	54.8 <sup>+0.3</sup>	M8	16	3.3	28.7
50	16	10.5	65.5 <sup>+0.3</sup> / <sub>-0.05</sub>	M10	21	4.7	35.6
63	16	10.5	76 <sub>-1</sub>	M10	21	4.7	35.9
80	20	13	92 <sub>-0.5</sub>	M12	26.5	6.1	45.4
100	20	13	109 <sub>-0.5</sub>	M12	26.5	6.1	49.3
125	–	17	132 <sup>+0.8</sup>	M16	40	8	64.1

Data sheet

Dimensions – Variants

Download CAD data → [www.festo.com](http://www.festo.com)

C – Clamping unit



Note

The clamping unit can only be selected with variant T in combination with variant Q.

The clamping unit is mounted on the round piston rod end in combination with variants T and Q.

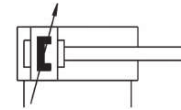
+ = plus stroke length

∅	B	BG	D1	D2	H1	L4	L5	VD	WH	ZW
[mm]	∅ d11					±0.2				±1.8
32	30	16	20	M5	67	45	14	11.5	26	164.1
40	35	16	24	G1/8	88	53	16	11.5	30	186.9
50	40	16	30	G1/8	107	67	20	11	37	208.8
63	45	16	38	G1/8	123	76	24	11	37	233.1
80	45	17	48	G1/8	165	95	31.5	12.5	46	268.6
100	55	17	48	G1/8	174	98	31	12	51	285.7
125	60	20	65	G1/8	208	125	42	27.5	65	349.3

## Cilindro a norma ISO DSBC-40-200-PPVA-N3

Codice prodotto: 1376663

FESTO



### Foglio dati

Caratteristica	Valore
Corsa	200 mm
Diametro pistone	40 mm
Filetto dello stelo	M12x1,25
Ammortizzazione	Ammortizzazione pneumatica, regolabile su entrambe le estremità
Posizione di montaggio	Opzionale
Conforme allo standard	ISO 15552
Parte finale stelo	Filetto maschio
Design	Pistone Stelo Canna profilata
Rilevamento posizione	Tramite sensore di finecorsa
Simbolo	00991235
Varianti	Stelo su un'estremità
Pressione d'esercizio	0.06 MPa ... 1.2 MPa
Pressione di lavoro	0.6 bar ... 12 bar
Funzionamento	A doppio effetto
Fluido di lavoro	Aria compressa a norma ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sul fluido di esercizio e di controllo	Possibilità di funzionamento lubrificato (in tal caso sarà sempre necessario un funzionamento lubrificato)
Classe di resistenza alla corrosione CRC	2 - Moderata sollecitazione da corrosione
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energia d'urto nelle posizioni terminali	0.7 J
Lunghezza ammortizzatore	19 mm
Forza teorica a 6 bar, corsa di ritorno	633 N
Forza teorica a 6 bar, in spinta	754 N
Massa in movimento per corsa 0 mm	205 g
Peso aggiuntivo per 10 mm di corsa	37 g
Peso base per corsa 0 mm	740 g
Massa aggiuntiva per ogni 10 mm di corsac	16 g
Tipo di montaggio	Una delle due: Tramite filetto femmina Con accessori
Attacco pneumatico	G1/4
Nota sui materiali	Conforme alla direttiva EU 2002/95 (RoHS)
Materiale coperchio	Alluminio pressofuso, rivestito
Materiale guarnizione del pistone	TPE-U(PU)
Materiale del pistone	Leghe di alluminio battuto



<b>Caratteristica</b>	<b>Valore</b>
Materiale stelo	Acciaio fortemente legato
Materiale guarnizione raschiaolio dello stelo	TPE-U(PU)
Materiale guarnizione ammortizzatore	TPE-U(PU)
Cushioning piston material	POM
Materiale tubo del cilindro	Lega di alluminio anodizzata
Materiale dado	Acciaio zincato
Materiale supporto	POM
Materiale viti a collare	Acciaio galvanizzato

## C.3 SNODO SFERICO

**Snodo**  
**SGS-M12X1,25**  
 Codice prodotto: 9262

FESTO



## Foglio dati

Caratteristica	Valore
Dimensione	M12x1,25
Classe di resistenza alla corrosione CRC	1 - Bassa corrosione o sollecitazione
Temperatura ambiente	-40 °C ... 150 °C
Peso prodotto	130 g
Nota sui materiali	Conforme alla direttiva EU 2002/95 (RoHS)
Materiale dell'anello esterno	Ottone
Materiale corpo	Acciaio galvanizzato
Materiale della pista interna	Acciaio
Materiale dado	Acciaio zincato

## C.4 FLANGIA OSCILLANTE

**Flangia oscillante  
SNCS-40**

Codice prodotto: 174398

**FESTO****Foglio dati**

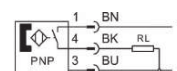
Caratteristica	Valore
Dimensione	40
Basato su standard	ISO 15552 (preced. anche VDMA 24562, ISO 6431, NF E49 003.1, UNI 10290)
Classe di resistenza alla corrosione CRC	1 - Bassa corrosione o sollecitazione
Temperatura ambiente	-40 °C ... 150 °C
Peso prodotto	122 g
Nota sui materiali	Conforme alla direttiva EU 2002/95 (RoHS)
Materiale del fissaggio	Alluminio pressofuso
Materiale dell'asta e del cuscinetto	Acciaio PTFE
Materiale viti	Acciaio Galvanizzato

## C.5 SENSORE DI PROSSIMITÀ

### Sensore induttivo SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D

Codice prodotto: 574334

FESTO



### Foglio dati

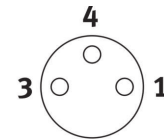
Caratteristica	Valore
Progettazione	Per scanalatura a T
Basato su standard	EN 60947-5-2
Simbolo	00991153
Approvazione	Marchio di fabbrica RCM Omologazione c UL us (OL)
Marchio CE (vedere dichiarazione di conformità)	Conforme Direttiva EMC Conforme alla direttiva EU RoHS
Marchio KC	KC-EMV
Caratteristiche speciali	Resistente all'olio
Nota sui materiali	Senza rame / PTFE Conforme alla direttiva EU 2002/95 (RoHS) Senza alogeni
Variabile misurata	Posizione
Principio di misura	Magnetoresistivo
Temperatura ambiente	-40 °C ... 85 °C
Precisione di ripetizione	0.2 mm
Uscita di commutazione	PNP
Funzione elemento di commutazione	Contatto N/A
Tempo di accensione	≤1.3 ms
Tempo di spegnimento	≤1.4 ms
Frequenza massima di commutazione	180 Hz
Max. corrente di uscita	100 mA
Max. corrente di uscita usando i kit di montaggio	100 mA
Capacità massima di commutazione DC	2.8 W
Max. capacità di commutazione DC utilizzando kit di montaggio	2.8 W
Caduta di tensione	<1.5 V
Corrente nominale di corto circuito	SI
Sicurezza contro i sovraccarichi	Disponibile
Tensione nominale di esercizio DC	24 V
Intervallo di tensione d'esercizio DC	5 V ... 30 V
Protezione da inversione di polarità	Per tutti i collegamenti elettrici
Collegamento elettrico ingresso 1, tipo di collegamento	Cavo con connettore maschio
Collegamento elettrico 1, connettore	M8x1, codifica A, secondo EN 61076-2-104
Collegamento elettrico 1, numero di poli	3
Collegamento elettrico 1, tipo di montaggio	Bloccaggio a vite
Collegamento elettrico 1, schema di collegamento	00991155
Orientamento della connessione di uscita	In linea

<b>Caratteristica</b>	<b>Valore</b>
Condizioni di test del cavo	Resistenza alla flessione: secondo la norma Festo Condizioni di test su richiesta Catena di energia: 5 milioni di cicli, raggio di curvatura 28 mm Resistenza alla torsione: > 300.000 cicli, ± 270°/0,1 m
Lunghezza del cavo	0.3 m
Caratteristiche cavo	Adatto per catena di energia/applicazioni robot
Colore guaina del cavo	grigio
Materiale della guaina del cavo	TPE-U(PUR)
Tipo di montaggio	Serrato a vite Inseribile nella scanalatura dall'alto
Coppia di serraggio max.	0.6 Nm
Posizione di montaggio	Opzionale
Peso prodotto	8.9 g
Colore corpo	Nero
Materiale corpo	Ottone nichelato Rinforzato con PA Acciaio inossidabile ad alta lega
Indicazione dello stato di commutazione	LED giallo
Indicazione riserva funzionale	LED arancione
Temperatura ambiente con cavo mobile	-20 °C ... 85 °C
Grado di protezione	IP65 IP68 IP69K

## C.6 CAVO DI COLLEGAMENTO

**cavo di collegamento  
NEBU-M8G3-K-2.5-LE3**

Codice prodotto: 541333

**FESTO****Foglio dati**

Caratteristica	Valore
Conforme allo standard	Colori dei fili e numero di collegamento secondo EN 60947-5-2 EN 61076-2-104
Protezione antideflagrante	The information in the certificate must be observed! Zone 2 (ATEX) Zone 22 (ATEX)
Designazione cavo	Con 2x supporti per targhette di identificazione
Peso prodotto	64 g
Collegamento elettrico 1, funzione	Lato dispositivo di campo
Collegamento elettrico 1, progettazione	Circolare
Collegamento elettrico ingresso 1, tipo di collegamento	Connettore femmina
Collegamento elettrico 1, uscita cavo	Diritto
Collegamento elettrico 1, connettore	M8x1, codifica A, secondo EN 61076-2-104
Collegamento elettrico 1, numero di poli	3
Collegamento elettrico 1, poli utilizzati	3
Collegamento elettrico 1, tipo di montaggio	Bloccaggio a vite
Collegamento elettrico 1, schema di collegamento	00991871
Collegamento elettrico 2, funzione	Lato comando
Collegamento elettrico ingresso 2, tipo di collegamento	Cavo
Collegamento elettrico 2, del connettore	Estremità aperta
Collegamento elettrico 2, numero di collegamenti/nuclei	3
Collegamento elettrico 2, collegamenti/nuclei utilizzati	3
Intervallo di tensione d'esercizio DC	0 V ... 60 V
Intervallo della tensione d'esercizio AC	0 V ... 60 V
Corrente nominale a 40°C	3 A
Immunità alle sovratensioni	1.5 kV
Lunghezza del cavo	2.5 m
Caratteristiche cavo	Standard
Condizioni di test del cavo	Resistenza alla flessione: secondo la norma Festo Condizioni di test su richiesta Catena portacavi: 5 milioni di cicli, raggio di curvatura 75 mm
Raggio di curvatura del cavo posa fissa	12 mm
Raggio di curvatura, installazione del cavo posa mobile	39 mm
Diametro cavo	3.8 mm
Tolleranza diametro cavo	± 0,1 mm
Struttura del cavo	3 x 0,25 mm <sup>2</sup>

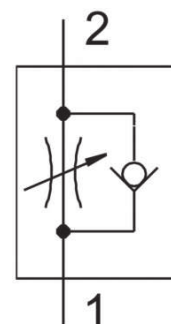
<b>Caratteristica</b>	<b>Valore</b>
Sezione nominale conduttore	0.25 mm <sup>2</sup>
Grado di protezione	IP65 IP68 IP69K
Nota sul grado di protezione	Nello stato assemblato
Caratteristiche speciali	Resistente all'olio
Temperatura ambiente	-25 °C ... 70 °C
Temperatura ambiente con cavo mobile	-5 °C ... 70 °C
Marchio CE (vedere dichiarazione di conformità)	Conforme Direttiva bassa tensione UE Conforme alla direttiva EU RoHS
Conformità PWIS	VDMA24364-B2-L
Nota sui materiali	Senza rame / PTFE Conforme alla direttiva EU 2002/95 (RoHS) Senza alogeni Senza estere di acido fosforico
Grado di inquinamento	3
Classe di resistenza alla corrosione CRC	2 - Moderata sollecitazione da corrosione
Materiale della guaina del cavo	TPE-U(PUR)
Colore guaina del cavo	grigio
Materiale corpo	TPE-U(PUR)
Colore corpo	Nero
Materiale della vite di bloccaggio	Ottone nichelato
Materiale guarnizioni	NBR
Materiale del contatto elettrico	Legia di rame dorata
Materiale della guaina isolante	PP

## C.7 REGOLATORE DI PORTATA

## Regolatore di portata unidirezionale GRLA-1/4-QS-8-D

Codice prodotto: 193147

FESTO



### Foglio dati

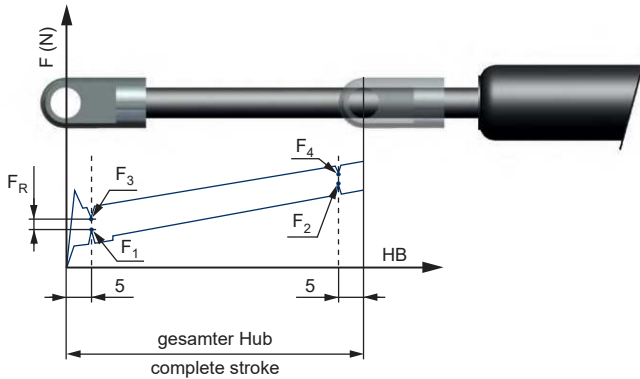
Caratteristica	Valore
Funzione valvola	Funzione di strozzatura unidirezionale dello scarico
Collegamento pneumatico, porta 1	QS-8
Collegamento pneumatico, porta 2	G1/4
Componente di regolazione	Vite a testa con intaglio
Tipo di montaggio	Avvitamento
Portata nominale standard in direzione del regolatore di flusso	475 l/min
Portata nominale standard in direzione bloccata	325 l/min ... 500 l/min
Temperatura ambiente	-10 °C ... 60 °C
Classificazione marittima	Certificato See
Posizione di montaggio	Opzionale
Simbolo	00991452
Pressione operativa entro l'intervallo completo di temperatura	0.2 bar ... 10 bar
Portata standard in direzione del regolatore di flusso 6 → 0	720 l/min
Portata standard in direzione di non ritorno 6 → 0 bar	610 l/min ... 760 l/min
Fluido di lavoro	Aria compressa a norma ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sul fluido di esercizio e di controllo	Possibilità di funzionamento lubrificato (in tal caso sarà sempre necessario un funzionamento lubrificato)
Temperatura del fluido	-10 °C ... 60 °C
Coppia nominale	5 Nm
Tolleranza della coppia di serraggio nominale	± 10%
Peso prodotto	42 g
Materiale del perno a vite	Leghe di alluminio battuto
Nota sui materiali	Conforme alla direttiva EU 2002/95 (RoHS)
Materiale guarnizioni	NBR
Materiale anello di smontaggio	POM
Materiale vite di regolazione	Ottone
Materiale raccordo orientabile	Zinco pressofuso Cromato



C.8 FORZA MOLLA A GAS

WM-G

Kraftverlauf · Force diagramme  
 Forces · Andamento della forza · Evolución de la fuerza



**D** Kraftverlauf

Die theoretische Ausschubkraft ergibt sich aus Fülldruck x Querschnittsfläche der Kolbenstange. Weforma Gasfedern werden nach Kundenwunsch auf einen bestimmten Druck (Ausschubkraft  $F_1$ ) gefüllt. Die Ausschubkraft bezieht sich immer auf den Wert  $F_1$ , gemessen bei  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  und bei nach unten weisender Kolbenstange.

- $F_1$  = Ausschubkraft bei ausgefahrener Kolbenstange
- $F_2$  = Ausschubkraft bei eingefahrener Kolbenstange
- $F_3$  = Einschubkraft bei ausgefahrener Kolbenstange
- $F_4$  = Einschubkraft bei eingefahrener Kolbenstange
- $F_R$  = Reibungskraft

**GB** Force Diagramme

The theoretical extension force is the result of the filling pressure multiplied by the cross-sectional area of the piston rod. Weforma gas springs are filled to a pressure determined in accordance with the customer's requirements (extension force  $F_1$ ). The extension force always refers to the value  $F_1$ , measured at  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  and with a downwards facing piston rod.



- $F_1$  = extension force with extended piston rod
- $F_2$  = extension force with compressed piston rod
- $F_3$  = insertion force with extended piston rod
- $F_4$  = insertion force with compressed piston rod
- $F_R$  = frictional force

**F** Forces

La force d'extension théorique est calculée en multipliant la pression de remplissage par la superficie de section de la tige de piston. Les ressorts à gaz Weforma sont remplis à une pression définie selon les souhaits du client (force d'extension  $F_1$ ). La force d'extension se rapporte toujours à la valeur  $F_1$ , mesurée à  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  et avec une tige de piston dirigée vers le bas.

- $F_1$  = Force d'extension avec tige de piston sortie
- $F_2$  = Force d'extension avec tige de piston rentrée
- $F_3$  = Force de compression avec tige de piston sortie
- $F_4$  = Force de compression avec tige de piston rentrée
- $F_R$  = Force de frottement

**I** Andamento della forza

La forza di espulsione è uguale alla pressione di riempimento moltiplicata per la superficie della sezione dello stelo del pistone. Le molle a gas Weforma vengono caricate a una determinata pressione (forza di espulsione  $F_1$ ) secondo le esigenze del cliente. La forza di espulsione si riferisce sempre al valore  $F_1$ , misurato a  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  con stelo del pistone rivolta verso il basso.

- $F_1$  = Forza di espulsione con stelo del pistone estratta
- $F_2$  = Forza di espulsione con stelo del pistone retratta
- $F_3$  = Forza di inserimento con stelo del pistone estratta
- $F_4$  = Forza di inserimento con stelo del pistone retratta
- $F_R$  = Forza d'attrito

**E** Evolución de la fuerza

La fuerza de extracción teórica resulta de la presión de llenado multiplicada por la superficie transversal de la biela. Los resortes de gas Weforma son rellenados a una presión determinada, por petición del cliente (fuerza de extracción  $F_1$ ). La fuerza de extracción se basa siempre en el valor  $F_1$ , medido a  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  y con la biela yendo hacia abajo.

- $F_1$  = Fuerza de extracción con la vástago del émbolo extendida
- $F_2$  = Fuerza de extracción con la vástago del émbolo contraída
- $F_3$  = Fuerza de inserción con la vástago del émbolo extendida
- $F_4$  = Fuerza de inserción con la vástago del émbolo contraída
- $F_R$  = Fuerza de fricción

Progression\*  
ca. %

WM-G-8	28
WM-G-10	20
WM-G-12	21
WM-G-15	27
WM-G-19	33
WM-G-22	39
WM-G-28	52
WM-G-40	45
WM-G-70	25
WM-GZ-19	20
WM-GZ-28	65

\*Progression: linear Kraftanstieg beim Einfahren bzw. Ausfahren, gemessen von der Nennkraft über den gesamten Hub. Die aufgeführten Werte sind beeinflussbar.

\*Progression: linear force increase during extension or compression, measured by the nominal force over the entire stroke. The listed values can be influenced.

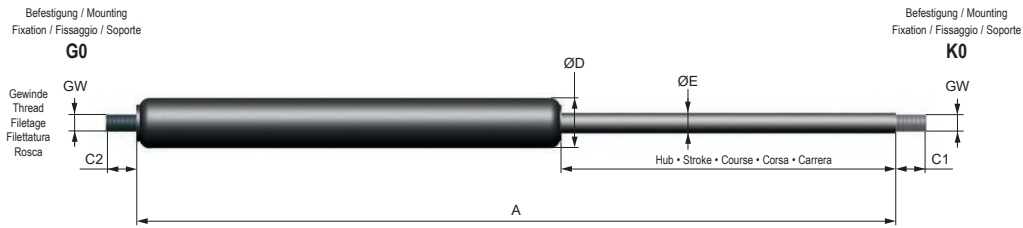
\*Progression: augmentation linéaire de la force lors de la rentrée ou de la sortie, calculée à partir de la force nominale sur l'ensemble de la course. Les valeurs spécifiques sont soumises à influences.

\*Progressione: incremento lineare della forza durante la ritrazione o l'estrazione, misurato dalla forza nominale su tutta la corsa. I valori riportati sono influenzabili.

\*Progression: aumento lineal de la fuerza al entrar o salir, medido de la fuerza nominal sobre todo el desplazamiento. Los valores indicados se pueden ver influidos.

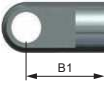
C.9 MOLLA A GAS WM-G


WM-G




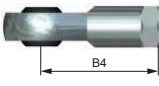
Bestellbeispiel: Seite 227 • Ordering Information: Page 227 • Exemple de commande: page: 227  
 Esempio d'ordinazione: pagina: 227 • Ejemplo de pedido: página 227

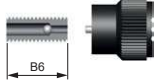
- 1** Gelenkauge • Male rod clevis  
Tête de chape (male)  
Attacco a cerniera maschio  
Charnela macho

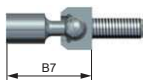

- 2** Winkelgelenk • Angle joint  
Joint à angle • Snodo angolare  
Charnela articulada



- 3** Gabelkopf • Female rod clevis  
Embout à rotule (femelle)  
Forcella femmina  
Charnela hembra


- 4** Gelenkkopf • Spherical end bearing  
Joint articulé • Forcella snodata  
Charnela macho articulada


- 6** Ablasschraube • Release screw  
Vis de purge • Tappo di scarico  
Tornillo de vaciado  
*nur G  
only G*


- 7** Gelenkschraube • Ball joints  
Inlme rotule • Snodo Sferico Assiale  
Linea de rótulas


- 8** Schutzrohr • Protection tube  
Tube de protection  
Tubo di protezione  
Tubo de protección



ABMESSUNGEN • DIMENSIONS • DIMENSIONI • DIMENSIONES

	ø D	Hub • Stroke Course • Corsa Carrera	Kraft • Force Force • Forza Fuerza		Kraft bei eingefahrener Kolbenstange Force with compressed piston rod*	A	B1	B2	B3	B4	B6	B7	C1	C2	ø E	GW
			N min.	N max.												
WM-G-40-100	40	100	500	5000	7250	317	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-150	40	150	500	5000	7250	417	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-200	40	200	500	5000	7250	517	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-300	40	300	500	5000	7250	717	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-400	40	400	500	5000	7250	917	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-500	40	500	500	5000	7250	1117	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-600	40	600	500	5000	7250	1317	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-800	40	800	500	5000	7250	1717	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-40-1000	40	1000	500	5000	7250	2117	40	45	56	57	15	-	15	15	20	M14x1,5
WM-G-70-100	70	100	2000	12000	15000	320	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-200	70	200	2000	12000	15000	520	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-300	70	300	2000	12000	15000	720	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-400	70	400	2000	12000	15000	920	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-500	70	500	2000	12000	15000	1120	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-600	70	600	2000	12000	15000	1320	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-700	70	700	2000	12000	15000	1520	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0
WM-G-70-800	70	800	2000	12000	15000	1720	-	-	100	94	-	-	35	35	30	M24x2,0

\* Force avec tige de piston rentrée • Forza con stelo del pistone retracts • Fuerza con vástago del émbolo introducida

WM-G-28: Höhere Ausschubkräfte bis 6400 N mit Elasto-Fluid Feder WES-G möglich: Seite 154  
 WM-G-28: Higher extension forces up to 6400 N possible using Elasto-Fluid-Springs WES-G: Page 154

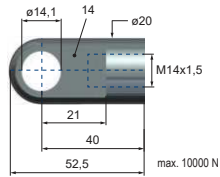


C.10 SNODI SFERICI

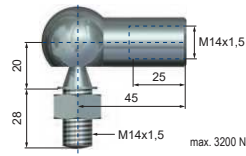
Zubehör

M14x1,5

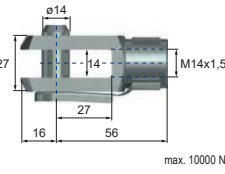
1-M14 Gelenkauge • Male rod clevis  
Tête de chape (male)  
Attacco a cerniera maschio  
Charnela macho



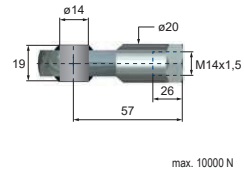
2-M14 Winkelgelenk • Angle joint  
Joint à angle • Snodo angolare  
Charnela articulada



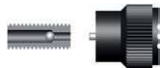
3-M14 Gabelkopf • Female rod clevis  
Embout à rotule (femelle)  
Forcella femmina  
Charnela hembra



4-M14 Gelenkkopf  
Spherical end bearing  
Joint articulé • Forcella snodata  
Charnela macho articulada

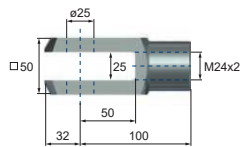


6-40-M14 Ablassschraube • Release screw  
Vis de purge • Tappo di scarico  
Tornillo de vaciado

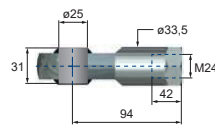


M24x2

3-M24 Gabelkopf • Female rod clevis  
Embout à rotule (femelle)  
Forcella femmina  
Charnela hembra



4-M24 Gelenkkopf  
Spherical end bearing  
Joint articulé • Forcella snodata  
Charnela macho articulada



max. 50000 N

## C.11 CUSCINETTO A SFERE A DUE CORONE

SKF®

Generato dal {sito} il {data}



## 4205 ATN9

## Cuscinetti radiali a sfere

## Dati sui cuscinetti

## Tolleranze,

Normale (dimensioni metriche), P6,  
P5, Normale (dimensioni in pollici),

## Gioco radiale interno,

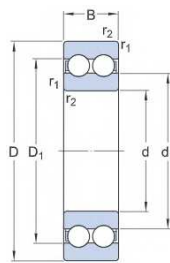
Coppia di cuscinetti appaiati, Acciaio  
inossidabile  $d < 10$  mm, Altri cuscinetti

## Interfacce cuscinetto

Tolleranze per la sede in  
condizioni standard,

Tolleranze e accoppiamenti  
risultanti

## Specifiche tecniche

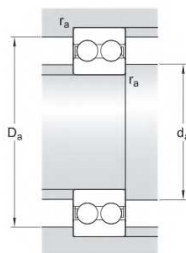


## DIMENSIONI

d	25 mm	Diametro foro
D	52 mm	Diametro esterno
B	18 mm	Larghezza
d1	≈34.2 mm	Diametro spallamento anello interno
D1	≈42.8 mm	Diametro spallamento anello esterno / diametro interno ralla esterna
r <sub>1,2</sub>	min.1 mm	Dimensioni smusso anello esterno

## DIMENSIONI DELLO SPALLAMENTO

d <sub>a</sub>	min.30.6 mm	Diametro spallamento albero
D <sub>a</sub>	max.46.4 mm	Diametro spallamento alloggiamento
r <sub>a</sub>	max.1 mm	Raggio del raccordo



SKF®

Pagina {pagina} di {totale}

## DATI DI CALCOLO

Coefficiente di carico dinamico	C	19 kN
Coefficiente di carico statico di base	$C_0$	14.6 kN
Carico limite di fatica	$P_u$	0.62 kN
Velocità di riferimento		20 000 r/min
Velocità limite		11 000 r/min
Fattore di calcolo	$k_f$	0.05
Fattore di calcolo	$f_0$	14.3

## MASSA

Massa cuscinetto		0.17 kg
------------------	--	---------

## TOLERANCE CLASS

Dimensional tolerances		Normal
Radial run-out		Normal

## C.12 CUSCINETTO A SFERE A SINGOLA CORONA

SKF®

Generato dal {sito} il {data}



61900

## Cuscinetti radiali a sfere

## Dati sui cuscinetti

## Tolleranze,

Normale (dimensioni metriche), P6,  
P5, Normale (dimensioni in pollici),

## Gioco radiale interno,

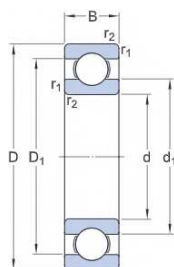
Coppia di cuscinetti appaiati, Acciaio  
inossidabile  $d < 10$  mm, Altri cuscinetti

## Interfacce cuscinetto

Tolleranze per la sede in  
condizioni standard,

Tolleranze e accoppiamenti  
risultanti

## Specifiche tecniche

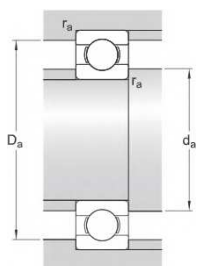


## DIMENSIONI

d	10 mm	Diametro foro
D	22 mm	Diametro esterno
B	6 mm	Larghezza
d1	≈13.9 mm	Diametro spallamento anello interno
D1	≈18.2 mm	Diametro spallamento anello esterno / diametro interno ralla esterna
r1,2	min.0.3 mm	Dimensioni smusso anello esterno

## DIMENSIONI DELLO SPALLAMENTO

da	min.12 mm	Diametro spallamento albero
Da	max.20 mm	Diametro spallamento alloggiamento
ra	max.0.3 mm	Raggio del raccordo



SKF®

Pagina {pagina} di {totale}

## DATI DI CALCOLO

Coefficiente di carico dinamico	C	2.7 kN
Coefficiente di carico statico di base	$C_0$	1.27 kN
Carico limite di fatica	$P_u$	0.054 kN
Velocità di riferimento		70 000 r/min
Velocità limite		45 000 r/min
Fattore di calcolo	$k_f$	0.02
Fattore di calcolo	$f_0$	14

## MASSA

Massa cuscinetto	0.01 kg
------------------	---------

## TOLERANCE CLASS

Dimensional tolerances	Normal
Radial run-out	Normal

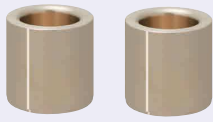
C.13 BOCCOLA

# Boccole per perni di posizionamento

## In lega di rame, dritte/con flangia

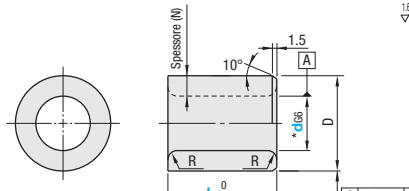
**Caratteristiche:** materiale adatto per prevenire l'abrasione e la ruggine dei perni in quanto più duttile dell'acciaio.

**In lega di rame, dritte**



**RoHS 10**


Materiale	Tipo	
	Dp6	Dm6
EN CC762S Equiv. (Ottone ad alta resistenza)	<b>JBAD</b>	<b>JBADM</b>



\* Per la lavorazione fori, notare che la riduzione del diametro interno del tipo p6 è maggiore di quella del tipo m6. (Vedere "Variazioni del D.I. dopo inserimento a pressione delle boccole per perni di posizionamento" di seguito)

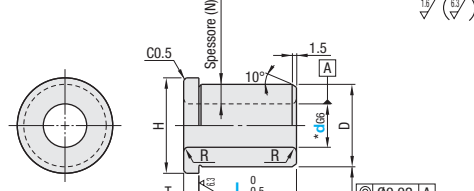
Cod. comp.			Selezione L						Spessore (N)	R	D	Tolleranza D		Prezzo unitario				
Tipo	d	Tolleranza D	5	6	8	10	12	15				p6	m6	JBAD	JBADM			
(Dp6) <b>JBAD</b>	5	+0.012	5	6	8	10	12	15	0.5	0.5	10	+0.024	+0.015					
	6	+0.004	5	6	8	10	12	15				16	+0.015	+0.006				
	8	+0.014	5	6	8	10	12	15				16	20	+0.029	+0.018			
	10	+0.005	6	8	10	12	15	16				20	25	+0.018	+0.007			
	12		8	10	12	15	16	20				25	30					
(Dm6) <b>JBADM</b>	13	+0.017	10	12	15	16	20	25	30	1	1							
	15	+0.006	10	12	15	16	20	25	30			4.5	22	+0.035	+0.021			
	16		12	15	16	20	25	30				5	25	+0.022	+0.008			
	20		12	15	16	20	25	30				5	26					
	25		12	15	16	20	25	30				5	30					
		+0.020	16	20	25	30	35					5	2	35	+0.042	+0.026		
		+0.007	16	20	25	30	35					5	2	35	+0.028	+0.009		

**In lega di rame, con flangia**



**RoHS 10**

Materiale	Tipo	
	Dp6	Dm6
EN CC762S Equiv. (Ottone ad alta resistenza)	<b>JBHD</b>	<b>JBHDM</b>



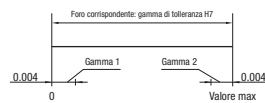
\* Per la lavorazione fori, notare che la riduzione del diametro interno del tipo p6 è maggiore di quella del tipo m6. (Vedere "Variazioni del D.I. dopo inserimento a pressione delle boccole per perni di posizionamento" di seguito)

Cod. comp.			Selezione L						Spessore (N)	R	H	T	D	Tolleranza D		Prezzo unitario			
Tipo	d	Tolleranza D	5	6	8	10	12							p6	m6	JBHD	JBHDM		
(Dp6) <b>JBHD</b>	5	+0.012	5	6	8	10	12	0.5	0.5	14	3	10	+0.024	+0.015					
	6	+0.004	5	6	8	10	12						15	+0.015	+0.006				
	8	+0.014	5	6	8	10	12						15	16	20	+0.029	+0.018		
	10	+0.005	6	8	10	12	15						16	20	25	+0.018	+0.007		
	12		8	10	12	15	16						20	25	30				
(Dm6) <b>JBHDM</b>	13	+0.017	10	12	15	16	20	25	30	1	1	22							
	15	+0.006	10	12	15	16	20	25	30				4.5	26	+0.035	+0.021			
	16		12	15	16	20	25	30					5	25	+0.022	+0.008			
	20		12	15	16	20	25	30					5	30					
	25		12	15	16	20	25	30					5	35					
		+0.020	16	20	25	30	35						5	2	40	+0.042	+0.026		
		+0.007	16	20	25	30	35						5	2	40	+0.028	+0.009		

**Ordering Example**

Cod. comp.	-	L
<b>JBAD6</b>	-	<b>10</b>
<b>JBHDM10</b>	-	<b>20</b>

Variazioni del D.I. dopo inserimento a pressione delle boccole per perni di posizionamento (Riferimento)



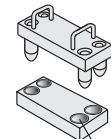
Tolleranza diametro foro alloggiamento: nella gamma 1

Tolleranza D	
m6	p6
99.90%	99.83%

Tolleranza diametro foro alloggiamento: nella gamma 2

Tolleranza D	
m6	p6
99.99%	99.92%

Boccola per perno di posizionamento - Lega di rame  
Boccole - Lega di rame



❗ I dati riportati sopra non sono valori garantiti ma sperimentali.



## C.14 GOLFARE DIN 580



**Golfari**  
Eye Bolts

**GOLFARI ZINCATI  
DIN 580 - DIN 582**

GALVANIZED EYE BOLTS  
DIN 580 - DIN 582

**CARATTERISTICHE**  
SPECIFICATION

Before the use check the integrity of the thread making sure the threaded parts are clean. Screw the eye up completely adhere to the surface of the detail which is assembled. Comply with the specified torque. Never try to adapt the eyebolt, cutting or redoing the thread. When the eyebolt is side pulled the working load must be reduced.  
Operating temperature: -20°C 200°C.

Prima dell'utilizzo verificare l'integrità del filetto assicurandosi che le parti filettate siano pulite. Avvitare a fondo il golfare fino ad aderire completamente contro la superficie del particolare su cui viene assemblato. Rispettare la coppia di serraggio indicata. Non cercare mai di adattare il golfare, tagliandolo o rifacendo la filettatura. Quando il golfare viene sottoposto a sforzi laterali si ha una riduzione di portata come riportato a lato.  
Temperatura di lavoro: -20°C 200°C.

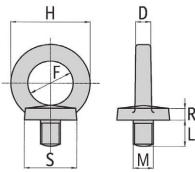


- Gli anelli dei golfari devono essere orientati nella direzione del carico, eventualmente spessorando con rondelle.
- The rings of the eye bolts must be oriented in the lifting direction.



**GOLFARI ZINCATI DIN 580**  
GALVANIZED EYE BOLTS DIN 580

**DIN 580**  
Golfare maschio  
Materiale: acciaio C15E  
Male eye bolt  
Material: C15E Steel



Tipo di attacco Kind of attachment							Dimensioni Dimensions										Coppia serraggio Tightening torque	Peso Weight
Numero di golfari Number of pieces		1	2	2	2	4												
Angolo Angle		0°	0°/45°	90°	0°/45°	0°/45°												
Code	Misura Size	Passo Pitch	Portata kg WLL kg				D mm	F mm	G mm	H mm	L mm	R mm	S mm	Nm	g			
AGOLFM06*	M6	1	90	90	90	60	135	6	14	27	26	11,0	6	14	2	20		
AGOLFM08	M8	1,25	140	140	140	95	210	8	20	36	36	13,0	6	20	5	60		
AGOLFM10	M10	1,5	230	230	230	160	345	10	25	45	45	17,0	8	25	10	110		
AGOLFM12	M12	1,75	340	340	340	240	510	12	30	53	54	20,5	10	30	17	180		
AGOLFM14*	M14	2	480	480	480	335	720	12	30	53	54	20,5	10	30	27	190		
AGOLFM16	M16	2	700	700	700	495	1050	14	35	62	63	27,0	12	35	42	280		
AGOLFM18*	M18	2,5	930	930	930	655	1395	14	35	62	63	27,0	12	35	58	290		
AGOLFM20	M20	2,5	1200	1200	1200	845	1800	16	40	71	72	30,0	14	40	83	450		
AGOLFM22*	M22	2,5	1450	1450	1450	1025	2175	16	40	71	72	30,0	14	40	100	465		
AGOLFM24	M24	3	1800	1800	1800	1270	2700	20	50	90	90	36,0	18	50	120	740		
AGOLFM27*	M27	3	2400	2400	2400	1695	3600	21	55	100	96	41,0	18	55	150	1015		
AGOLFM30	M30	3,5	3200	3200	3200	2260	4800	24	60	109	108	45,0	22	65	180	1660		
AGOLFM33*	M33	(2) 3,5	3900	3900	3900	2755	5850	28	70	128	126	54,0	26	75	200	2625		
AGOLFM36	M36	(3) 4	4600	4600	4600	3250	6900	28	70	128	126	54,0	26	75	240	2650		
AGOLFM42	M42	(3) 4,5	6300	6300	6300	4455	9450	32	80	147	144	63,0	30	85	300	4030		
AGOLFM48	M48	(3) 5	8600	8600	8600	6080	12900	38	90	168	166	68,0	35	100	400	6380		
AGOLFM56	M56	(4) 5,5	11500	11500	11500	8130	17250	42	100	187	184	78,0	38	110	600	8800		
AGOLFM64	M64	(4) 6	16000	15550	15550	11310	23300	48	110	208	206	90,0	42	120	1000	12400		

\* Misure non previste dalla norma. Le dimensioni potrebbero variare.  
\* Sizes not according to DIN norm. Dimensions might be different.

• Passo ( ) a richiesta  
• Pitch ( ) upon demand

## Guarnizioni delle portiere

**CARATTERISTICHE**

- Impermeabile e resistente alle intemperie
- Fornisce isolamento contro suoni e vibrazioni
- Durable
- Resistente ai solventi e agli acidi diluiti

**Striscia di bordatura nera in gomma RS Pro, 20m x 7,5 mm x 10mm**

Codice RS: 727-6087



I prodotti firmati RS approvati per impieghi professionali offrono componenti di qualità professionale in tutte le categorie di prodotti. La nostra gamma di prodotti è stata testata da ingegneri e offre una qualità paragonabile a quella dei marchi leader senza pagare un prezzo eccezionale.



## DESCRIZIONE del

Da RS PRO una guarnizione in gomma espansa EPDM (monomero di etilene-propilene-diene) estrusa di alta qualità progettata per l'uso su porte o finestre. Quando compressa, la camera d'aria contenuta nel profilo della guarnizione riempie le grandi aperture anche se irregolari. Questa guarnizione per porte in gomma EPDM è dotata di una striscia autoadesiva sul retro che ne facilita l'applicazione.

## Specifiche generali

<b>Tipo di prodotto</b>	Striscia sigillante
<b>Materiali</b>	Gomma
<b>Colore</b>	Nero
<b>Applicazioni</b>	Veicoli, porte e finestre di edifici, macchinari industriali e agricoli, Armadi

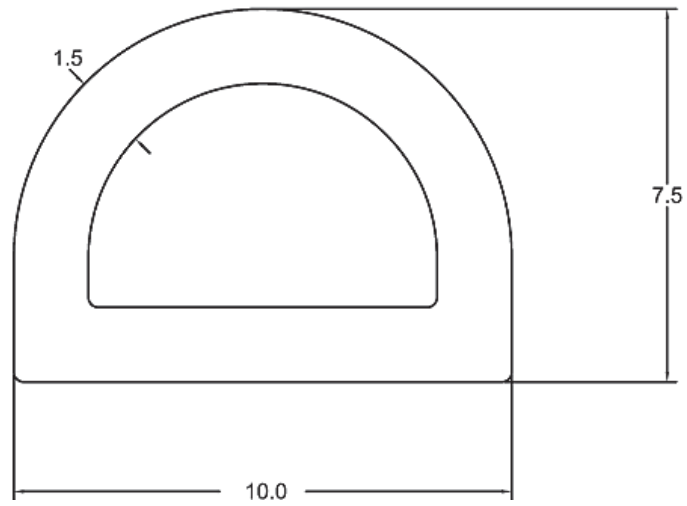
## Specifiche meccaniche

<b>Dimensioni</b>	20m x 10mm x 7,5 mm
<b>Lunghezza</b>	20m
<b>Larghezza</b>	10mm
<b>Altezza</b>	7.5mm
<b>Modifica della durezza</b>	60+-5 SHORE A.
<b>Resistenza all'ozono</b>	Sì

## Omologazioni

<b>Conformità/certificazioni</b>	Certificato di conformità RoHS
----------------------------------	--------------------------------

HP0278



## C.16 RUOTE

## INFORMAZIONE DI PRODOTTO

**DELTA****3642IEP160P63**

EAN 4031582337211

Ruota girevole con freno a doppia azione, anteriore, Supporto in lamiera pesante di acciaio, zincato lucido, passivato blu, girevole su cuscinetti a sfere di precisione sigillati, asse ruota con vite e dado, attacco a piastra. Centro della ruota in alluminio, Fascia: gomma nera elastica vulcanizzata, mozzo su cuscinetti a sfere

**TENTE**

BETTER MOBILITY. BETTER LIFE.



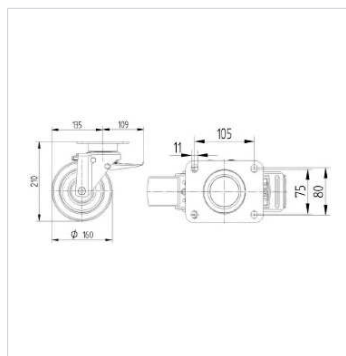
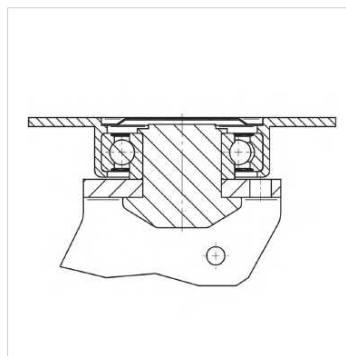
L'immagine potrebbe essere diversa dal prodotto originale

**Informazioni Tecniche**

Diametro ruota	160 mm
Larghezza ruota	50 mm
Larghezza ruota	94 mm
Dimensione della piastra	137 x 105 mm
Interasse fori piastra	105 x 80/75 mm
Diametro fori piastra	11 mm
Dome-Ø	94 mm
Disassamento	55 mm
Ingombro piroettamento	270 mm
Altezza utile	210 mm
Temperatura	- 20 / + 85 °C
Norma	EN 12532
Peso	3.437 kg
Raggio ingombro piroettamento	135 mm
Durezza della fascia	Shore A 68
Portata	350 kg
Portata statica	700 kg

**Caratteristiche**

Resistenza al rotolamento	● ● ● ● ○
Silenziosità	● ● ● ● ○
Abrasione	● ● ● ● ○
Protezione dalla corrosione	● ● ● ● ○

**Dimensioni****Struttura e montaggio**

INFORMAZIONE DI PRODOTTO

# DELTA

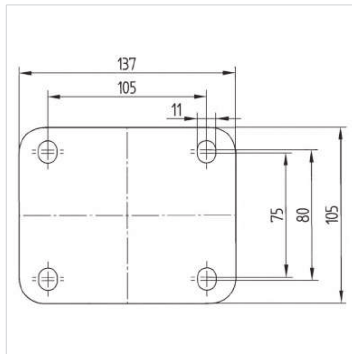
3642IEP160P63

EAN 4031582337211



BETTER MOBILITY. BETTER LIFE.

## Struttura e montaggio



## C.17 SWITCH

<b>Description</b>	tel. 02.3361.1626 info@elitaliaweb.it	
	fax 02.2626.1009 www.elitaliaweb.it	

**MP310 / MP320**

<b>Approval</b>	EN 61058-1 250VAC/6A 50'000 cycles
	EN 61058-1 400VAC/6A 50'000 cycles*
*Optional	UL 61058-1 250VAC/6A 50'000 cycles
	UL 61058-1 400VAC/6A 50'000 cycles*
	CSA C22.2 250VAC/6A 6'000 cycles*
	ATEX 113d/Ex t IIIB 84°C Dc 250VAC/6A*
	Resistive load
<b>Housing</b>	Plastic reinforced with glass fiber (PBT or PPS for high temperature or ATEX)
<b>Pin Button</b>	PPS
<b>Membrane</b>	Fluorosilicone - other optional materials available
<b>Switching Circuit</b>	Change over - snap action with blade spring in copper/beryllium
<b>Contact</b>	Silver - optional gold
<b>Connection</b>	Cable Various cable exit option.: Standard - Opposite - Underside PVC -20°C to +105°C PVCU -20°C to +105°C (Approval UL) PUR -40°C to +90°C SI -40°C to +130°C PTFE -40°C to +170°C Other material optional
<b>Actuator</b>	Stainless steel
<b>Degree of Protection</b>	Housing IP67 Connection IP67
<b>Class of Protection</b>	II
<b>Micro-switching</b>	μ
<b>Distance between Contacts</b>	0.80 mm
<b>Dimensions</b>	DIN 41 635, form E 31 x 24 x 10.3 mm
<b>Actuation Force</b>	1.3 to 4.0 N, depending on the lever
<b>Differential Travel</b>	0.05 mm - Optional 0.02 mm
<b>Temperature Range</b>	EN 61058-1 -40°C to +170°C UL 61058-1 -40°C to +130°C CSA 22.2 T amb. ATEX -15°C to +80°C Cable selection may reduce temperature range
<b>Mechanical Life</b>	50 x 10 <sup>6</sup> cycles

Series MP300

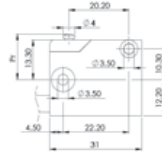


# Actuator

tel. 02.3361.1626 info@elitaliaweb.it  
 fax 02.2626.1009 www.elitaliaweb.it

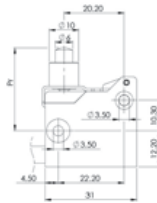
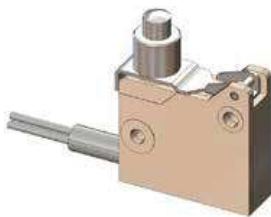


## Type 0: Basic switch - Pin Button



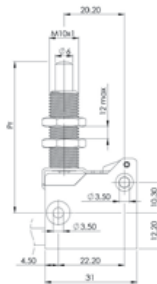
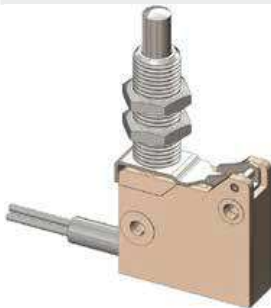
Actuating Force Fa max. (N)	3.5
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	15.3 ± 0.3
Operating Position Pa (mm)	14.7 ± 0.2
Over-Travel sr min. (mm)	0.20
Differential Travel sd max. (mm)	0.05

## Type 1MS27: Telescopic



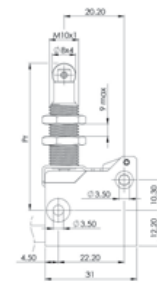
Actuating Force Fa max. (N)	3.5
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	27.7 ± 0.6
Operating Position Pa (mm)	27.2 ± 0.3
Over-Travel sr min. (mm)	2.0
Differential Travel sd max. (mm)	0.1

## Type 1M: Telescopic with Thread



Actuating Force Fa max. (N)	3.5
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	50.3 ± 0.6
Operating Position Pa (mm)	49.7 ± 0.3
Over-Travel sr min. (mm)	5.0
Differential Travel sd max. (mm)	0.1

## Type 1ML: Telescopic with Stainless Steel Roller



Actuating Force Fa max. (N)	3.5
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	49.8 ± 0.6
Operating Position Pa (mm)	48.3 ± 0.3
Over-Travel sr min. (mm)	5.0
Differential Travel sd max. (mm)	0.1

Optional: transvers roller

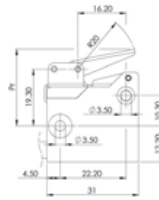
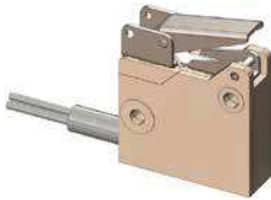
Series MP300

# Actuator

tel. 02.3361.1626 info@elitaliaweb.it  
 fax 02.2626.1009 www.elitaliaweb.it



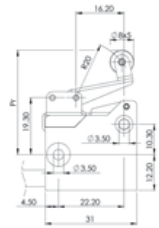
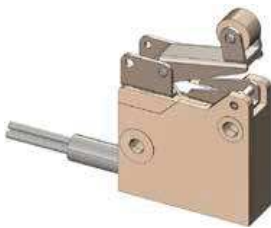
## Type 3MA: Simple Lever - Indirect Action -



Actuating Force Fa max. (N)	2.5
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	26.0 ± 1.0
Operating Position Pa (mm)	24.2 ± 0.6
Over-Travel sr min. (mm)	2.5
Differential Travel sd max. (mm)	0.8

Optional: lever mounted on opposite side

## Type 5MAL: Simple Lever with Roller - Indirect Action -

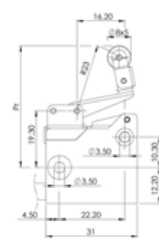
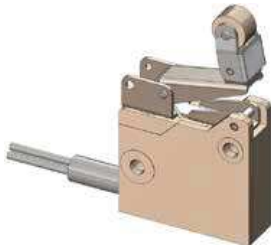


Actuating Force Fa max. (N)	3.0
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	35.6 ± 1.0
Operating Position Pa (mm)	34.0 ± 0.6
Over-Travel sr min. (mm)	2.5
Differential Travel sd max. (mm)	0.8

Optional: lever mounted on opposite side, stainless steel roller (5MAL)<sub>s</sub>, transvers roller

Series MP300

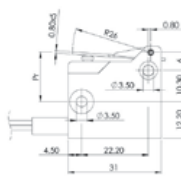
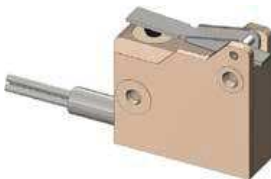
## Type 6MAL: Simple Lever with Bending Roller - Indirect Action -



Actuating Force Fa max. (N)	3.0
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	41.5 ± 1.0
Operating Position Pa (mm)	39.8 ± 0.6
Over-Travel sr min. (mm)	2.5
Differential Travel sd max. (mm)	0.8

Optional: lever mounted on opposite side, stainless steel roller (6MAL)<sub>s</sub>, transvers roller

## Type 7M26: Simple Lever - Direct Action -



Actuating Force Fa max. (N)	3.5
Release Force Fr min. (N)	1.0
Free Position Pr (mm)	17.0 ± 1.0
Operating Position Pa (mm)	16.0 ± 0.3
Over-Travel sr min. (mm)	0.2
Differential Travel sd max. (mm)	0.1

## C.18 ELETTROVALVOLA DI SICUREZZA



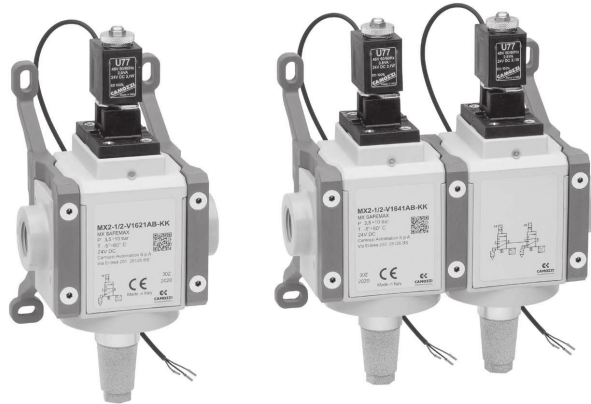
UNITÀ FRL MODULARI SERIE MX &gt; VALVOLE DI SICUREZZA A SCARICO RAPIDO 3/2 VIE SERIE MX SAFEMAX

TRATTAMENTO ARIA 2021/02

## Valvole di sicurezza a scarico rapido 3/2 vie Serie MX SAFEMAX

Attacchi: G1/2

VALVOLE DI SICUREZZA A SCARICO RAPIDO 3/2 VIE SERIE MX SAFEMAX



- » Secondo Direttiva Macchine 2006/42/CE
- » Facile integrazione con Unità FRL Serie MX
- » Soluzioni per raggiungere fino a Performance Level E

La Direttiva Macchine (MD) 2006/42/CE stabilisce i requisiti di sicurezza che una macchina deve soddisfare per tutelare la salute delle persone nel suo utilizzo. Le elettrovalvole MX SAFEMAX rispondono alla norma ISO 13849-1, che si riferisce alla progettazione sicura dei sistemi di comando che svolgono funzioni di sicurezza.

Le elettrovalvole MX SAFEMAX sono dotate di un sensore integrato che rileva la posizione della spola e permettono di scaricare l'impianto rapidamente in caso di emergenza. La valvola a canale singolo è un componente classificato in categoria 2 e permette di raggiungere il Performance Level D. La valvola a doppio canale è un componente classificato in categoria 4 e permette di raggiungere un Performance Level E. Nota bene: la valvola di sicurezza non è sufficiente, da sola, a garantire la funzione di sicurezza. La sua attivazione richiede l'utilizzo di un dispositivo supervisore.

### CARATTERISTICHE GENERALI

Tipo costruttivo	modulare, compatto, a spola
Materiali	vedi TABELLA MATERIALI pagina successiva
Attacchi	G1/2
Montaggio	in linea, a parete (con morsetti)
Temperatura d'esercizio	-5 ÷ +60 °C
Pressione di esercizio	con servopilotaggio interno: 3,5 bar ÷ 10 bar con servopilotaggio esterno: 0,5 bar ÷ 10 bar (pilotaggio 3,5 bar ÷ 10 bar, maggiore o uguale alla P di esercizio)
Portata (6 bar)	versione singola: 1÷2 = 5600 Nl/min (ΔP 1) 2÷3 = 5000 Nl/min (flusso libero) versione doppia: 1÷2 = 4100 Nl/min (ΔP 1) 2÷3 = 5000 Nl/min (flusso libero)
Fluido	aria filtrata ISO 8573-1:2010 [7:4:4], non lubrificata (in caso si utilizzasse aria lubrificata si consiglia olio ISOVG32 e di non interrompere mai la lubrificazione)

### CARATTERISTICHE BOBINA

connessione	DIN EN 175 301-803-B
Tensione	24V DC (±10%) 3,1W (ED 100%)

### CARATTERISTICHE SENSORE

connessione	con fili, M8
Tensione	10-28V DC
Principio di funzionamento	Magnetoresistivo
Tipo di contatto	N.O. PNP
Corrente massima	versione EX: 200 mA 0,65 W versione UL: 100 mA 3 W versione CE: 200 mA 5,5W

### CONFORMITÀ ALLA NORMATIVA EN ISO 13849-1

Performance Level raggiungibile (PL)	versione singola: categoria 2, PLd versione doppia: categoria 4, Ple
B10d	2.000.000 cicli

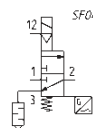
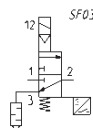
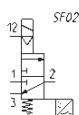
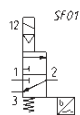
## ESEMPIO DI CODIFICA VALVOLA SINGOLA

**MX 2 - 1/2 - V 16 2 0 A B - KK - LH**

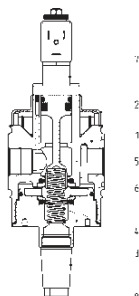
<b>MX</b>	SERIE	
<b>2</b>	TAGLIA	
<b>1/2</b>	ATTACCO 1/2 = G1/2	
<b>V</b>	COMPONENTE V = valvola 3/2 vie	
<b>16</b>	TIPO DI COSTRUZIONE 16 = servopilotaggio interno 17 = servopilotaggio esterno	
<b>2</b>	CANALE 2 = singolo	
<b>0</b>	ACCESSORI 0 = senza silenziatore 1 = con silenziatore	
<b>A</b>	SENSORE A = sensore UL cavo 2mt B = sensore UL cavo 5mt C = sensore ATEX cavo 2mt D = sensore ATEX cavo 5mt E = sensore CE connettore M8 cavo 300mm	
<b>B</b>	VERSIONE A = Atex B = UL C = CE sensore e versione devono rispettare la stessa Norma/direttiva AB, BB - CA, DA - EC	
<b>KK</b>	MONTAGGIO = senza accessori di montaggio HH = morsetti laterali rapidi e flange JJ = morsetti laterali a parete e flange KK = staffe laterali a parete e flange	
<b>LH</b>	DIREZIONE DEL FLUSSO = da sinistra a destra (standard) LH = da destra a sinistra	

VALVOLE DI SICUREZZA A SCARICO RAPIDO 3/2 VIE SERIE MX SAFEMAX

## Simboli versione singola



## Valvola Serie MX SAFEMAX singola - materiali



PARTI	MATERIALI
1 = Corpo	Alluminio
2 = Copertura	Pom
3 = Tappo	Alluminio
4 = Molla	Acciaio
5 = Spola	Acciaio, Fkm, Ptf, Plastroferrite
6 = Elemento di gabbia	Ottone
7 = Solenoidi	Rame, Ottone, Acciaio, PET
8 = Silenziatore	Acciaio, Bronzo
O-Ring e guarnizioni	Nbr, Fkm
Sensore	Rifiuto elettrico

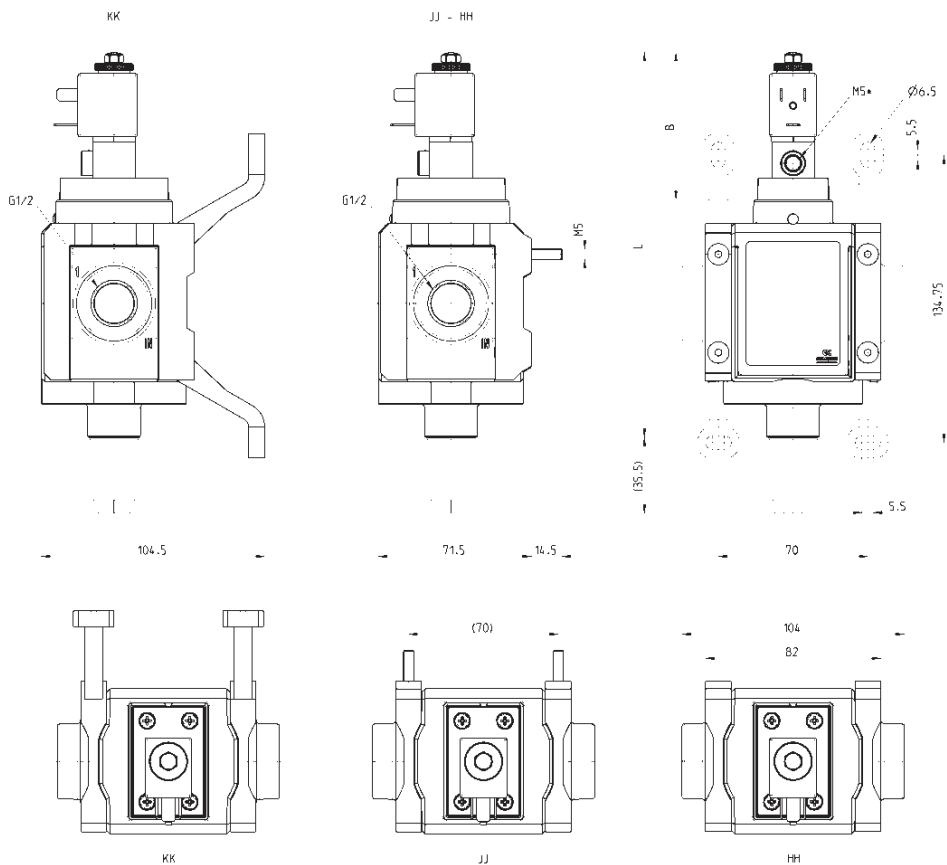
**Valvola Serie MX SAFEMAX singola - ingombri**



L'elettrovalvola è fornita completa di sensore e bobina

\*attacco disponibile solo con versione a pilotaggio esterno

VALVOLE DI SICUREZZA A SCARICO RAPIDO 3/2 VIE SERIE MX SAFEMAX



MX SAFE dimensioni			
Mod.	L (mm)	B (mm)	Simbolo
MX2-1/2-V162...	175	63	
MX2-1/2-V172...	180.5	69	



# D

## TAVOLE REALIZZATE

---

In questa appendice sono riportate le tavole dei componenti disegnati. In tab. [D.1](#) e [D.2](#) sono elencate le tavole per il sarcofago. In tab. [D.3](#) sono elencate le tavole per il carrello manuale.

Descrizione	Tavola associata
Esploso	<a href="#">D.1</a>
Saldature (1)	<a href="#">D.2</a>
Saldature (2)	<a href="#">D.3</a>
Base esterna	<a href="#">D.4</a>
Parete esterna destra	<a href="#">D.5</a>
Parete esterna sinistra	<a href="#">D.6</a>
Lastra piombo laterale (1)	<a href="#">D.7</a>
Lastra piombo laterale (2)	<a href="#">D.8</a>
Parete laterale interna	<a href="#">D.9</a>
Parete int/ext retro	<a href="#">D.10</a>
Lastra piombo retro	<a href="#">D.11</a>
Lastra piombo base	<a href="#">D.12</a>
Parete interna base	<a href="#">D.13</a>
Estensione molla	<a href="#">D.14</a>
Telaio	<a href="#">D.15</a>
Traverso anteriore inferiore	<a href="#">D.16</a>
Montante	<a href="#">D.17</a>
Traverso destro superiore	<a href="#">D.18</a>
Traverso laterale inferiore	<a href="#">D.19</a>
Traverso sinistro superiore	<a href="#">D.20</a>
Traverso posteriore inferiore	<a href="#">D.21</a>
Perno braccio-sarcofago	<a href="#">D.22</a>
Traverso ant/post superiore	<a href="#">D.23</a>
Coperchio	<a href="#">D.24</a>
Parete superiore	<a href="#">D.25</a>
Lastra piombo	<a href="#">D.26</a>
Parete inferiore	<a href="#">D.27</a>
Replica Schunk (supporto)	<a href="#">D.28</a>
Replica Schunk (anello)	<a href="#">D.29</a>

Tabella D.1: Tabella riassuntiva delle tavole del sarcofago (1).

Descrizione	Tavola associata
Parete anteriore apribile	D.30
Parte esterna	D.31
Lastra piombo	D.32
Parte interna	D.33
Perno braccio-parete frontale	D.34
Perno braccio supporto	D.35
Braccia principali e accessori	D.36
Braccia principali	D.37
Perno braccio-cilindro	D.38
Perno braccio-molla	D.39
Braccia supporto e accessori	D.40
Braccia supporto	D.41
Supporto laterale dx con perni	D.42
Supporto laterale dx	D.43
Perno cilindro-sarcofago	D.44
Perno molla-sarcofago	D.45
Supporto laterale sx con perni	D.46
Supporto laterale sx	D.47

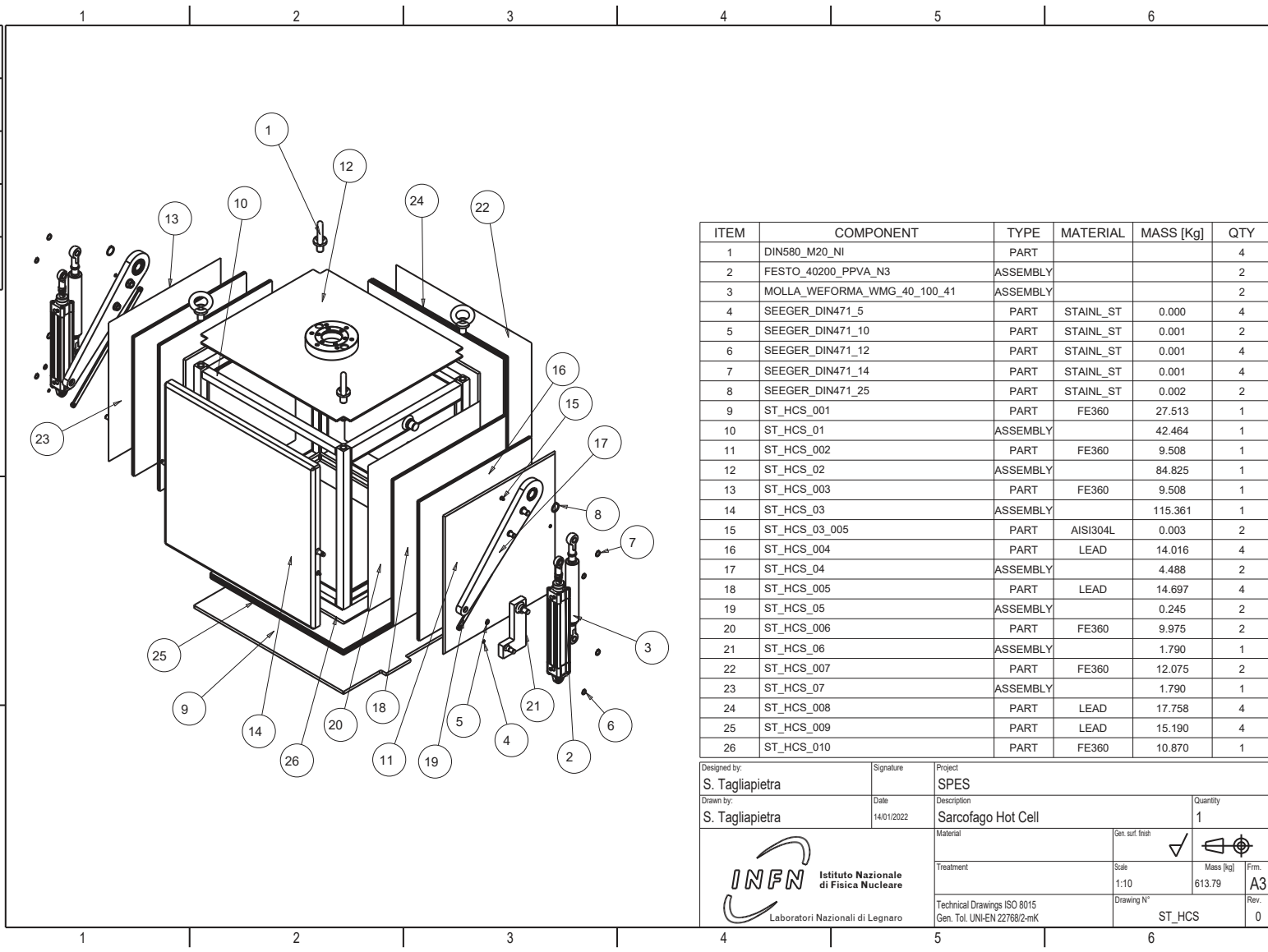
Tabella D.2: Tabella riassuntiva delle tavole del sarcofago (2).

Descrizione	Tavola associata
Complessivo	D.48
Esploso piastra d'appoggio	D.49
Piastra inferiore	D.50
Piastra superiore	D.51
Scheletro di supporto	D.52
Travi esterne	D.53
Travi interne	D.54
Piastra attacco ruote	D.55
Manico	D.56
Montante esterno	D.57
Traverso	D.58
Montante interno	D.59



Tabella D.3: Tabella riassuntiva delle tavole del carrello manuale.



INTEGRITÀ FUNZIONALE PER LE PARTI INDIVIDUALI FABBRICATE SECONDO I REQUISITI DI PROGETTO	>120	0.5	7
INTEGRITÀ FUNZIONALE PER LE PARTI INDIVIDUALI FABBRICATE SECONDO I REQUISITI DI PROGETTO	300 <= T <= 120	0.3	7
INTEGRITÀ FUNZIONALE PER LE PARTI INDIVIDUALI FABBRICATE SECONDO I REQUISITI DI PROGETTO	100 <= T <= 300	0.2	7
INTEGRITÀ FUNZIONALE PER LE PARTI INDIVIDUALI FABBRICATE SECONDO I REQUISITI DI PROGETTO	T <= 100	0.1	7

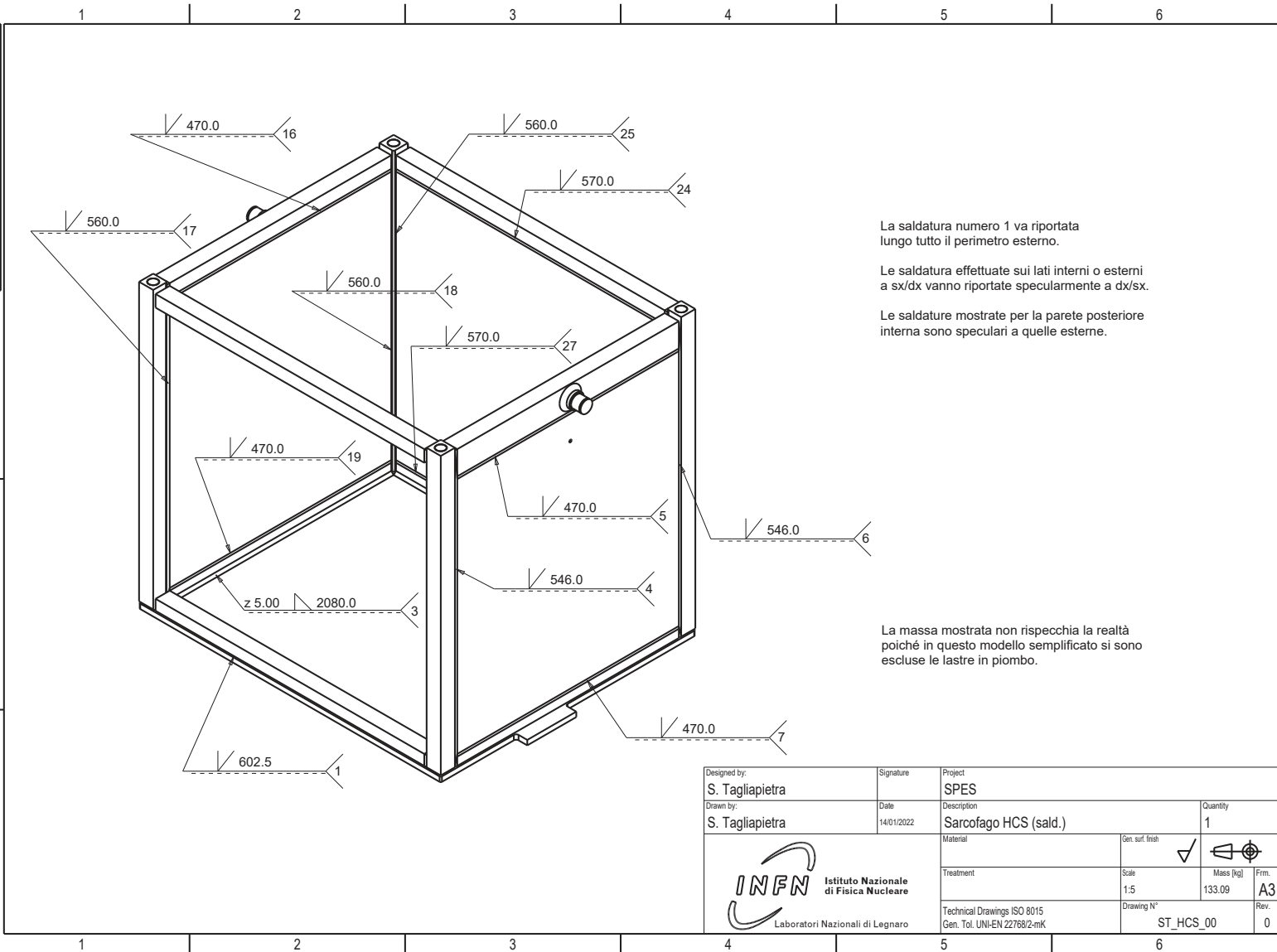


ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	DIN580_M20_NI	PART			4
2	FESTO_40200_PPVA_N3	ASSEMBLY			2
3	MOLLA_WEFORMA_WMG_40_100_41	ASSEMBLY			2
4	SEEGER_DIN471_5	PART	STAINL_ST	0.000	4
5	SEEGER_DIN471_10	PART	STAINL_ST	0.001	2
6	SEEGER_DIN471_12	PART	STAINL_ST	0.001	4
7	SEEGER_DIN471_14	PART	STAINL_ST	0.001	4
8	SEEGER_DIN471_25	PART	STAINL_ST	0.002	2
9	ST_HCS_001	PART	FE360	27.513	1
10	ST_HCS_01	ASSEMBLY		42.464	1
11	ST_HCS_002	PART	FE360	9.508	1
12	ST_HCS_02	ASSEMBLY		84.825	1
13	ST_HCS_003	PART	FE360	9.508	1
14	ST_HCS_03	ASSEMBLY		115.361	1
15	ST_HCS_03_005	PART	AISI304L	0.003	2
16	ST_HCS_004	PART	LEAD	14.016	4
17	ST_HCS_04	ASSEMBLY		4.488	2
18	ST_HCS_005	PART	LEAD	14.697	4
19	ST_HCS_05	ASSEMBLY		0.245	2
20	ST_HCS_006	PART	FE360	9.975	2
21	ST_HCS_06	ASSEMBLY		1.790	1
22	ST_HCS_007	PART	FE360	12.075	2
23	ST_HCS_07	ASSEMBLY		1.790	1
24	ST_HCS_008	PART	LEAD	17.758	4
25	ST_HCS_009	PART	LEAD	15.190	4
26	ST_HCS_010	PART	FE360	10.870	1

Designed by: <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>
Drawn by: <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description <b>Sarcofago Hot Cell</b>
		Quantity <b>1</b>
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material
		Treatment
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK
		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
Scale 1:10	Mass [kg] 613.79	Frm. <b>A3</b>
Drawing N° <b>ST_HCS</b>	Rev. <b>0</b>	

D.2 SALDATURE (1)

INFC/1788 (in compliance with the EN 1090-1 standard for the fabrication of steel structures)	> 120	0.5	7
individual fabrication tolerances (mechanical and geometrical design)	300 <= L <= 1200	0.3	+
	150 <= L <= 300	0.2	+
	10 <= L <= 150	0.1	+
	L <= 10	0.1	+





La saldatura numero 1 va riportata lungo tutto il perimetro esterno.

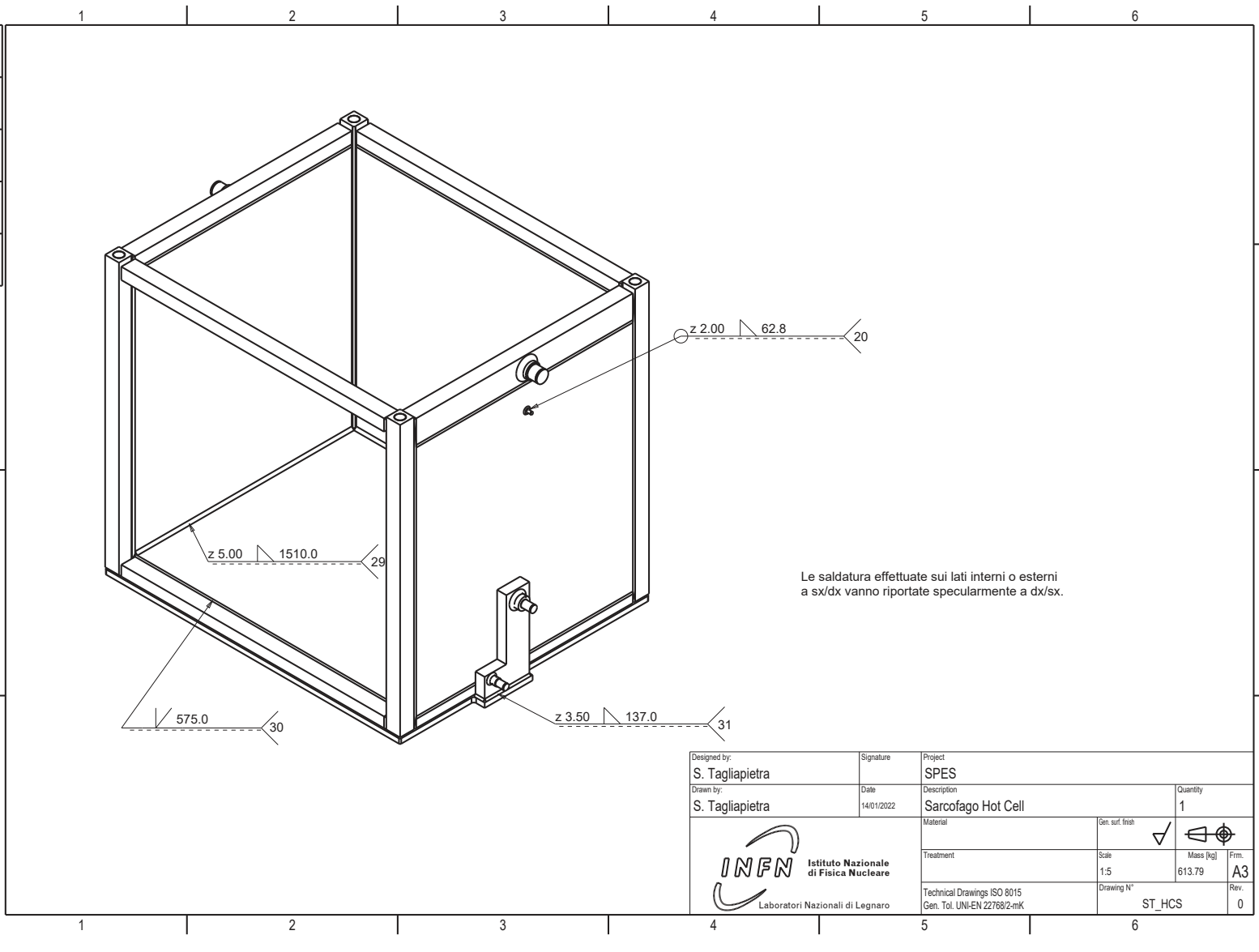
Le saldature effettuate sui lati interni o esterni a sx/dx vanno riportate specularmente a dx/sx.

Le saldature mostrate per la parete posteriore interna sono speculari a quelle esterne.



La massa mostrata non rispecchia la realtà poiché in questo modello semplificato si sono escluse le lastre in piombo.

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Sarcofago HCS (sald.)	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>	
		Treatment	Scale 1:5	Mass [kg] 133.09
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_00	Firm. A3
			Rev. 0	

UNI EN 17789 per dimensioni fino a 1000	0.5	7
individuali fabbricati in saldatura meccanica o per altri mezzi	0.3	5
> 100	0.5	7
> 300 e ≤ 1000	0.3	5
> 50 e ≤ 300	0.2	3
≤ 50	1.0	10



Le saldatura effettuate sui lati interni o esterni a sx/dx vanno riportate specularmente a dx/sx.

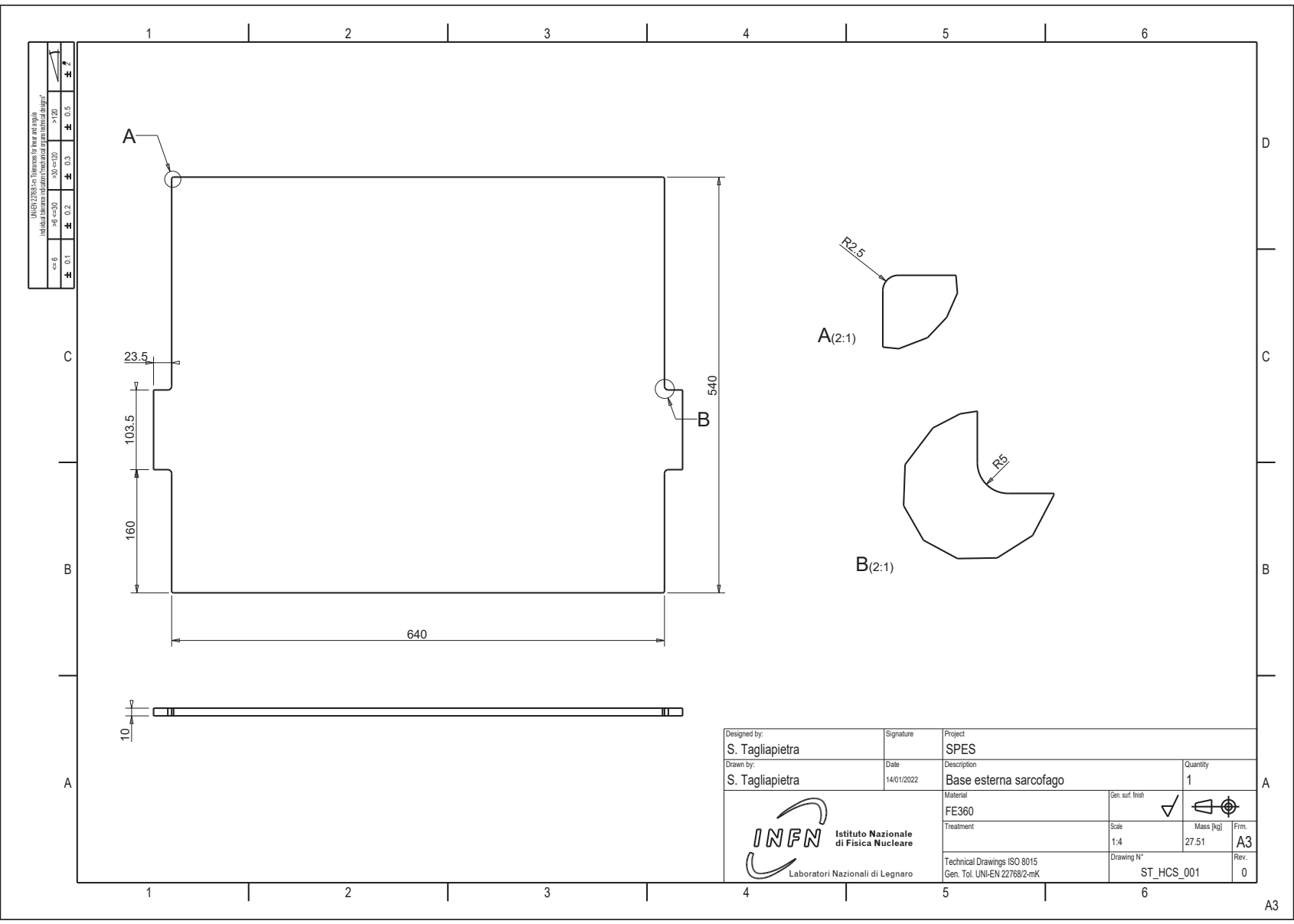
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Sarcofago Hot Cell	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material	Gen. surf. finish ✓		
	Treatment	Scale 1:5	Mass [kg] 613.79	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS	Rev. 0	

D.3 SALDATURE (2)

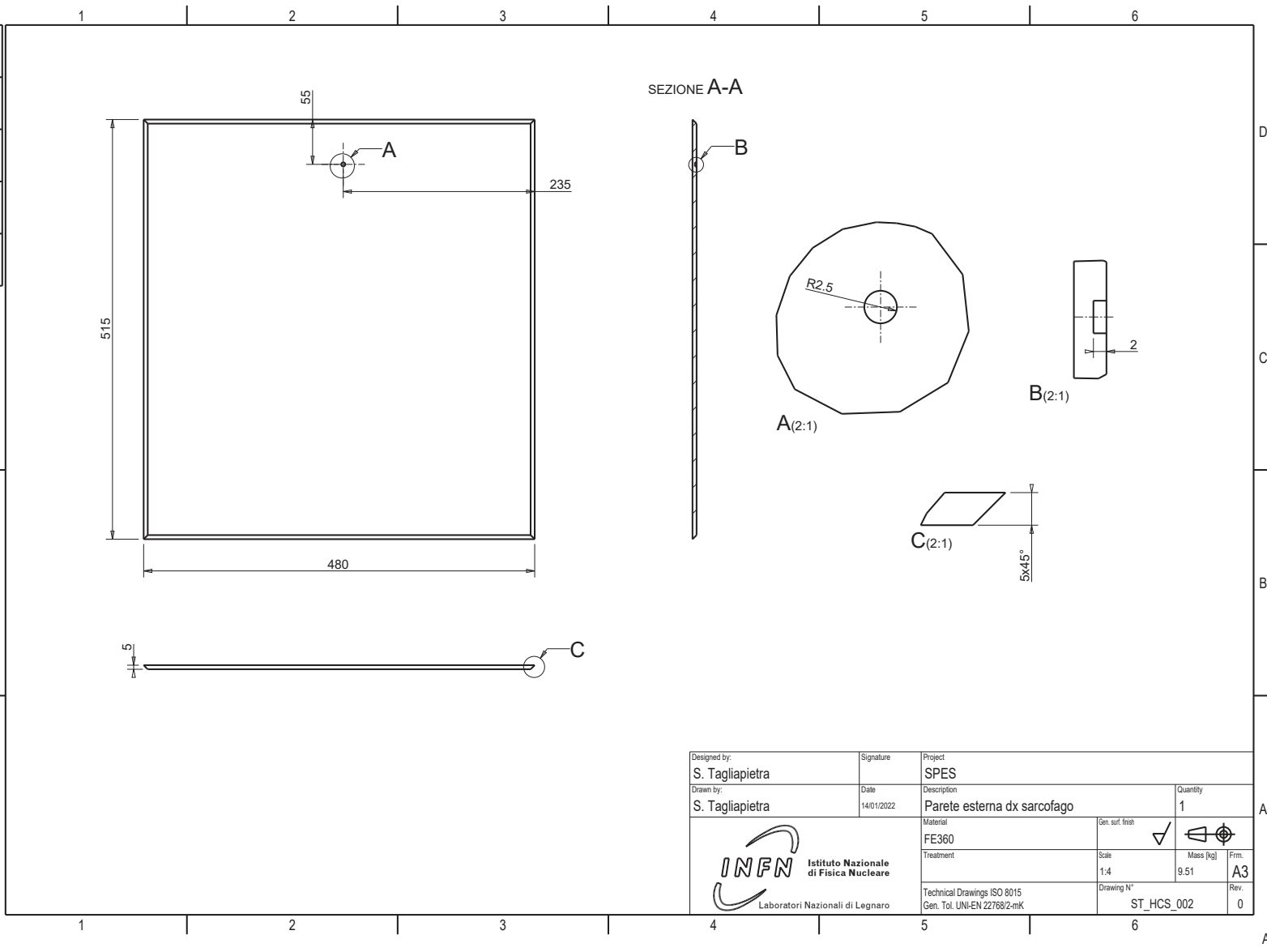
D.3 SALDATURE (2) 179



A3

D.4 BASE ESTERNA



UNI EN 17788 (in compliance with the requirements of the Italian standards for the production of technical drawings)			
≤ 6	> 6 e ≤ 30	> 30 e ≤ 120	> 120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5



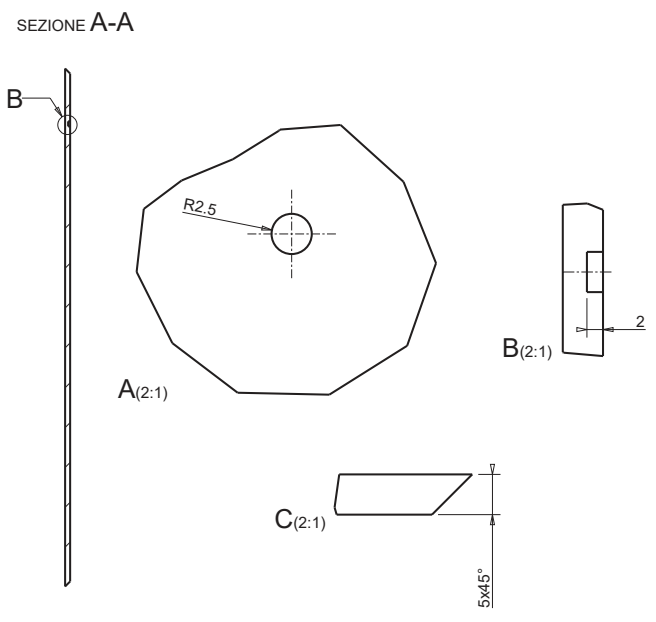
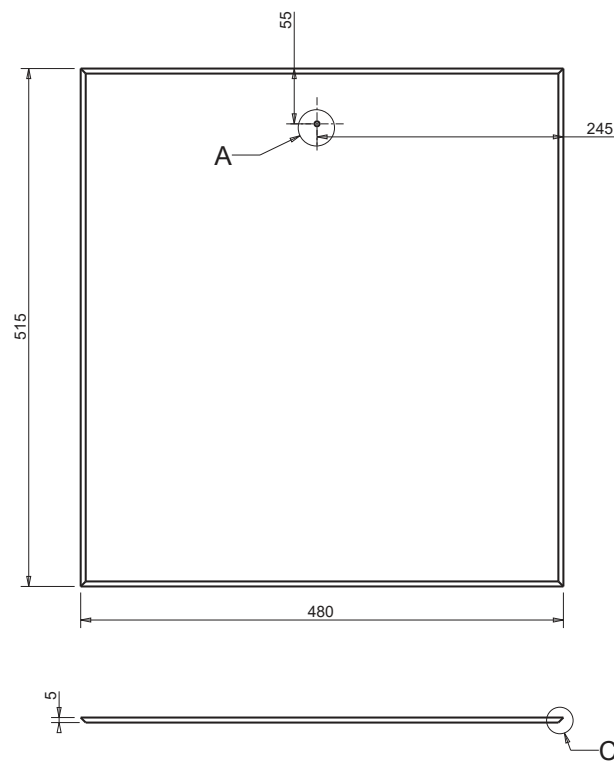
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete esterna dx sarcofago	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 9.51	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_002	Rev. 0	

D.5 PARETE ESTERNA DESTRA

D.5 PARETE ESTERNA DESTRA 181

A3

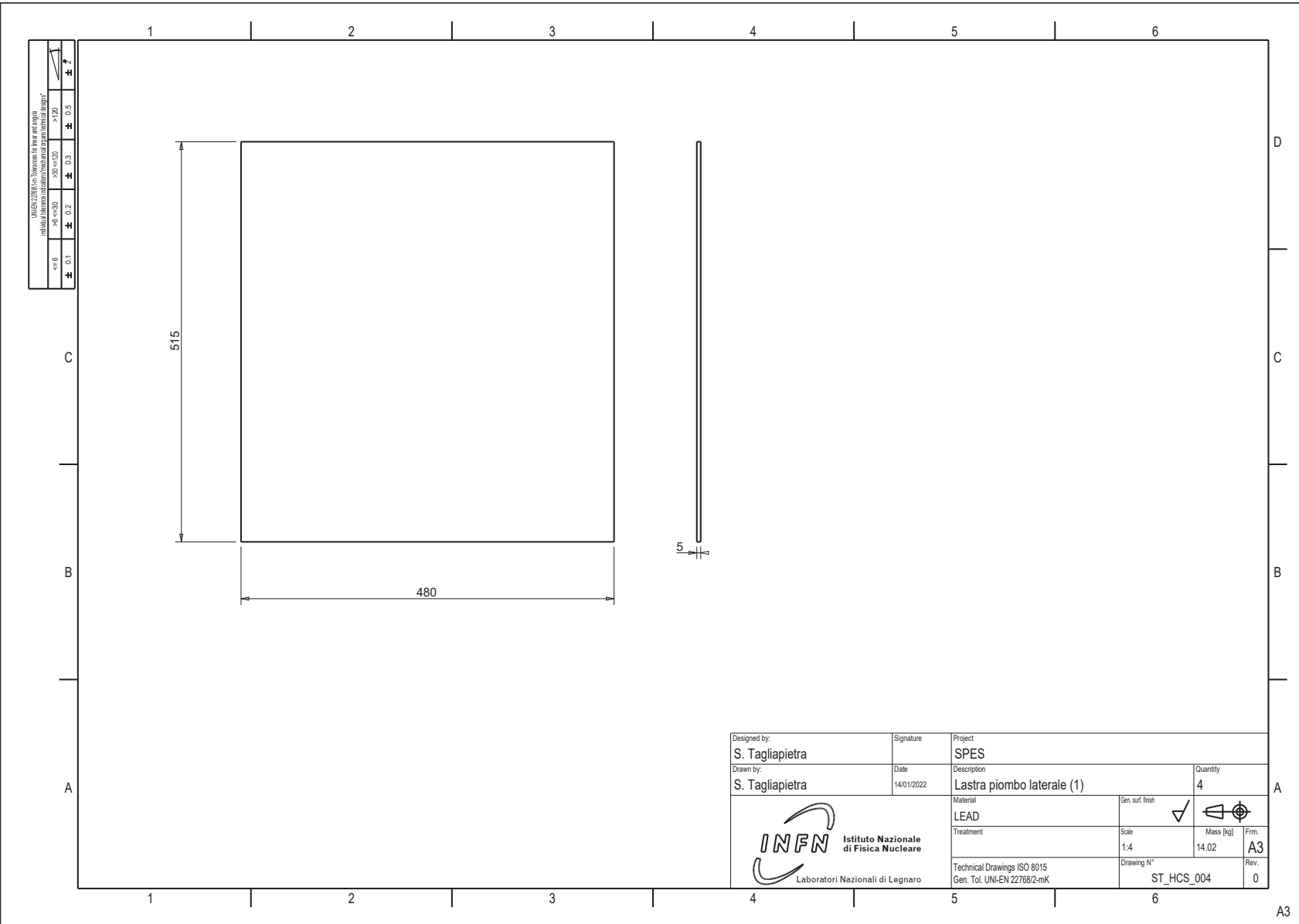
UNI EN 17814 con Supplemento per Pire e Profili individuali fabbricati in alluminio anodizzato e rivestiti in epoxi	
≤ 6	0.1
> 6 e ≤ 30	0.2
> 30 e ≤ 120	0.3
> 120	0.5



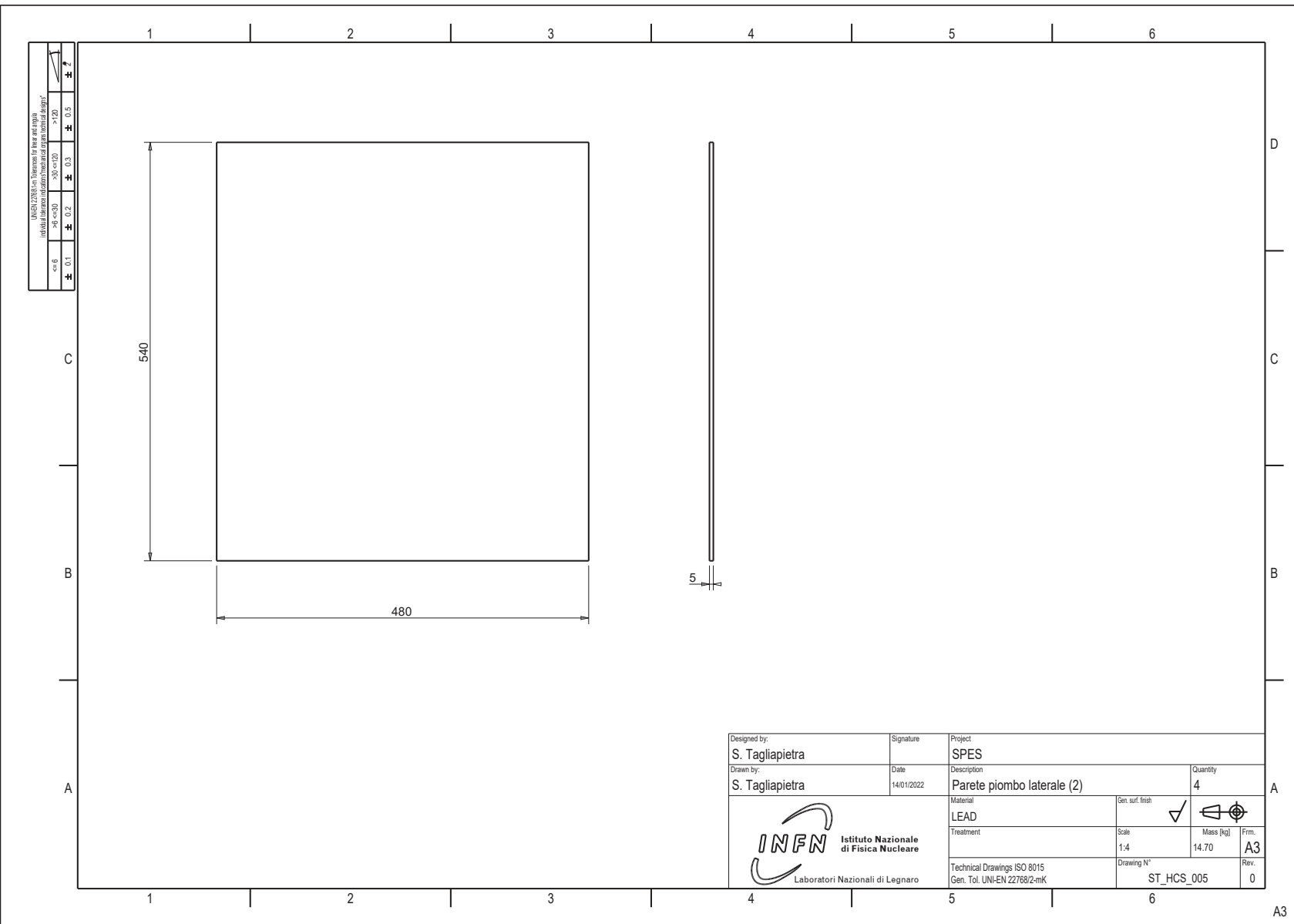
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete esterna sx sarcofago
		Quantity 1
		Material FE360 Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Treatment Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Mass [kg] 9.51 Firm. A3 Rev. 0
Drawing N° ST_HCS_003		



D.6 PARETE ESTERNA SINISTRA

D.7 LASTRA PIOMBO LATERALE (1)



D.8 LASTRA PIOMBO LATERALE (2)

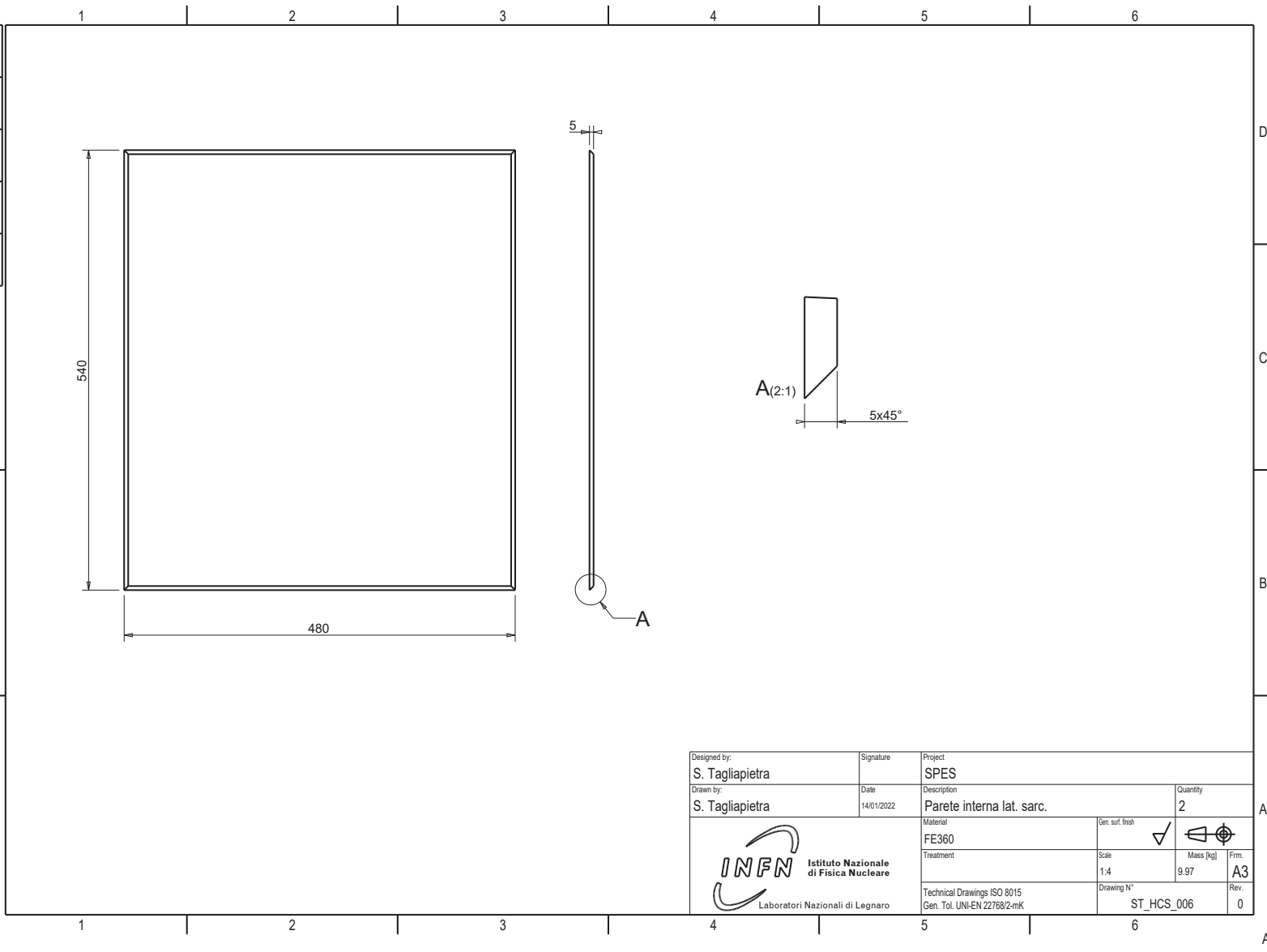




Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete piombo laterale (2)	Quantity 4
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material LEAD	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>	
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 14.70
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_005	Frm. A3
		Rev. 0	

A3



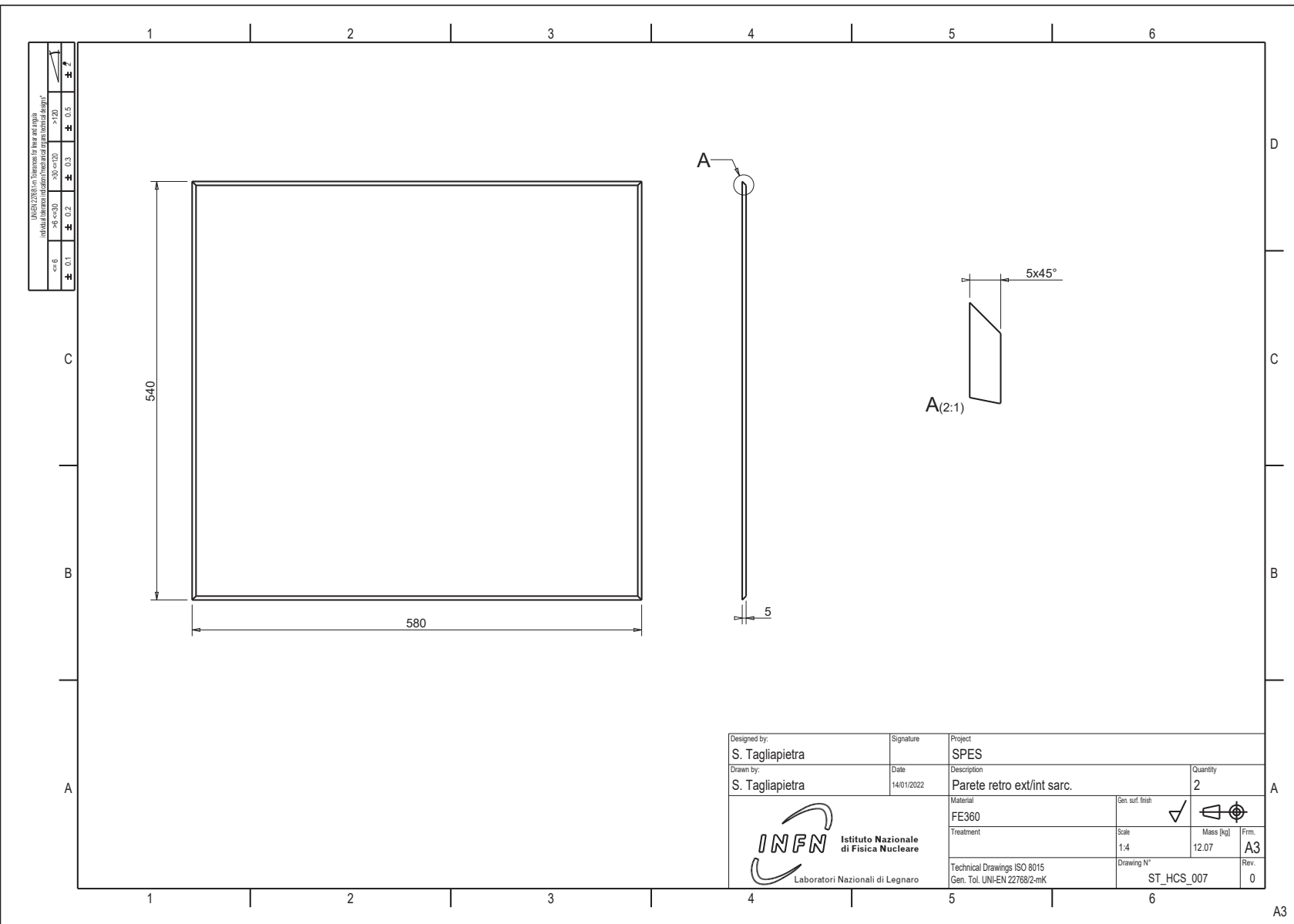
UNI EN 17093 in compliance for new and existing individual fabrication of cast iron mechanical components design			
≤ 6	> 6 &lt;= 30	> 30 &lt;= 120	> 120
±	±	±	±
0.1	0.2	0.3	0.5
±	±	±	±



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete interna lat. sarc.	Quantity 2	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 9.97	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_006	Rev. 0	



A3

D.10 PARETE INT / EXT RETRO

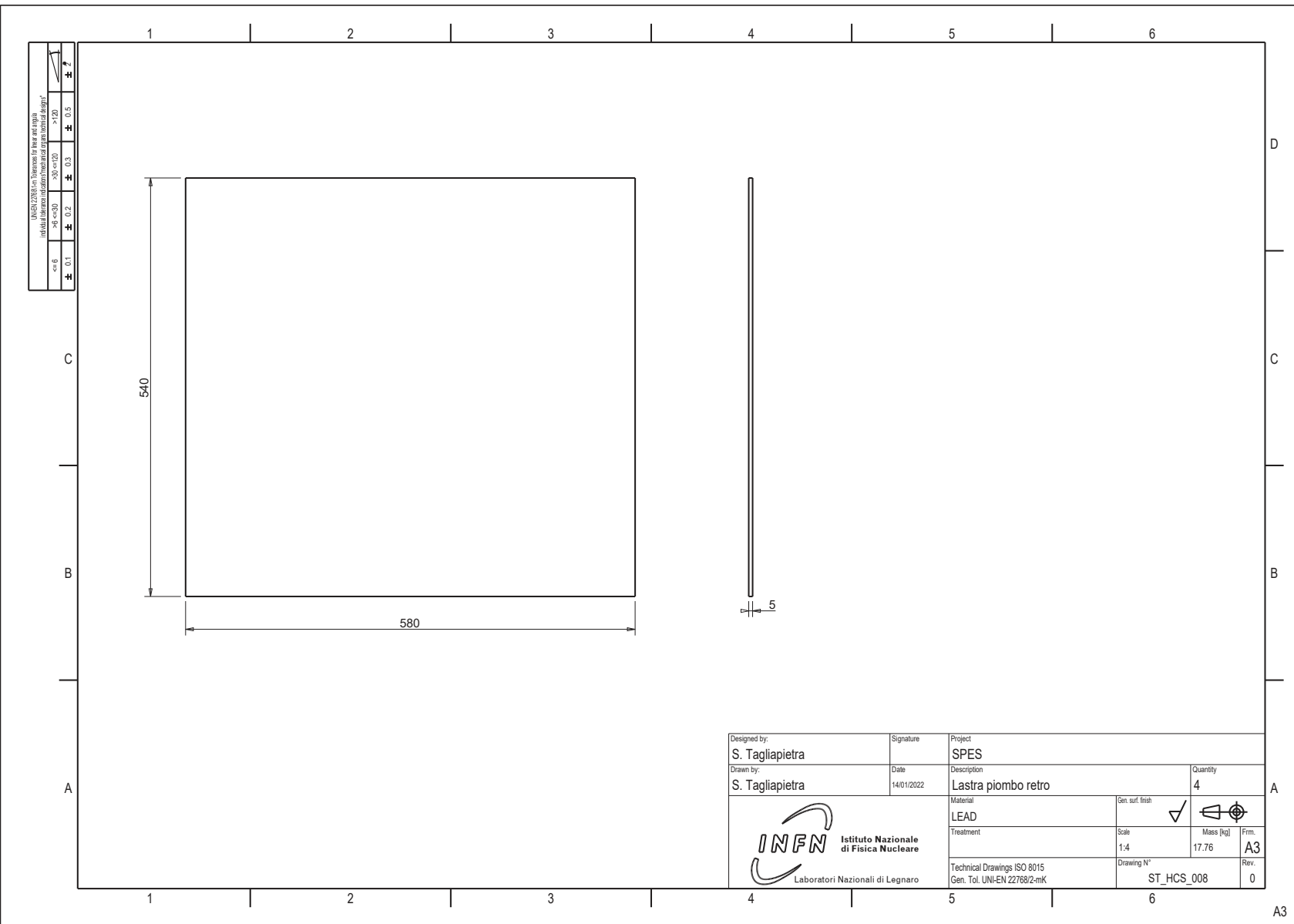


UNI EN 17093 con Supplemento per l'uso in Italia  
 individuati fabbricanti autorizzati/technical approved design?

≤ 6	> 6 <= 30	> 30 <= 100	> 100
+	+	+	+
0.1	0.2	0.3	0.5



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete retro ext/int sarc.
		Quantity 2
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	
	Treatment	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Scale 1:4
		Mass [kg] 12.07
		Frm. A3
		Rev. 0
		Drawing N° ST_HCS_007

A3



UNI EN 17091 is a European Standard for Lead and Lead Alloy  
 indicating fabrication tolerances for mechanical and geometrical design.

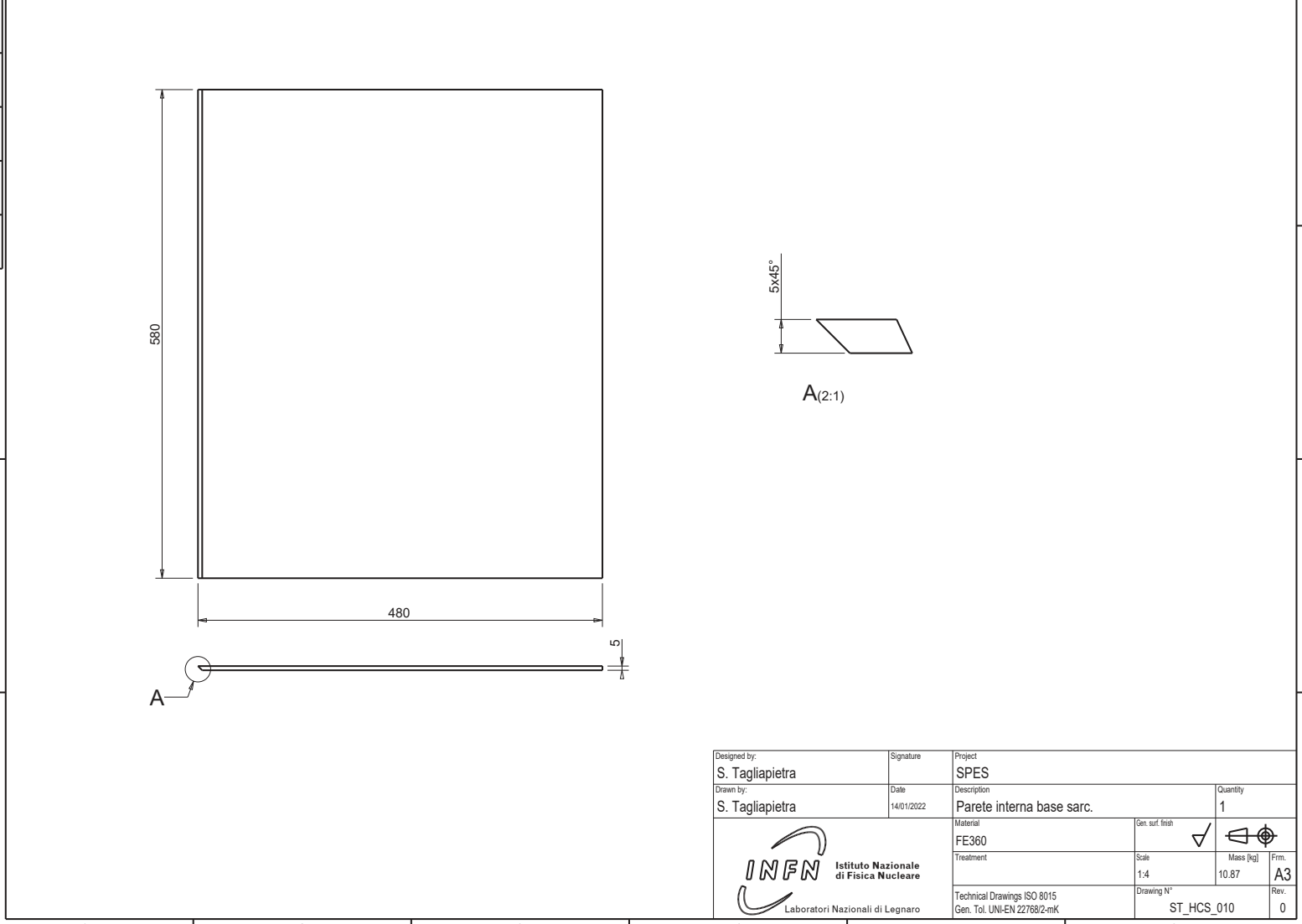
≤ ± 6	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.7
> ± 6	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.7
> ± 120	± 0.3	± 0.5	± 0.7	± 1.0



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Lastra piombo retro
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 4
		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
Material LEAD	Treatment	Scale 1:4
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Mass [kg] 17.76
Drawing N° ST_HCS_008		Frm. A3
		Rev. 0

A3



UNI EN 17784 is a European Standard for the use of profiles individually fabricated in accordance with technical drawings.			
≤ 6	> 6 <= 30	> 30 <= 120	> 120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete interna base sarc.	
		Quantity 1	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 	
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 10.87
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_010	Frm. A3
		Rev. 0	

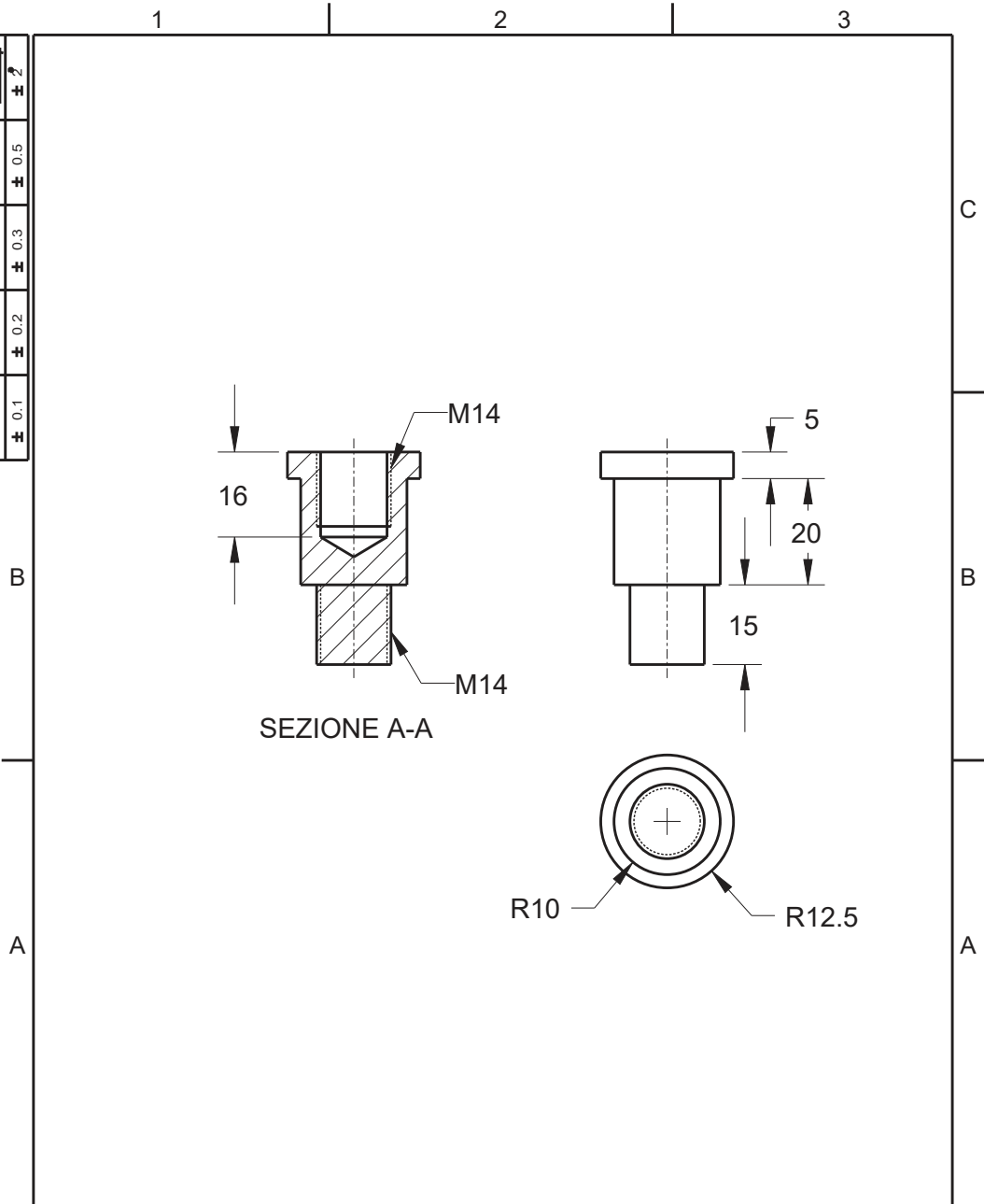
D.13 PARETE INTERNA BASE



D.13 PARETE INTERNA BASE 189

A3

D.14 ESTENSIONE PER LA MOLLA

UNI-EN 22768/1-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
≤6	>6 ≤30	>30 ≤120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

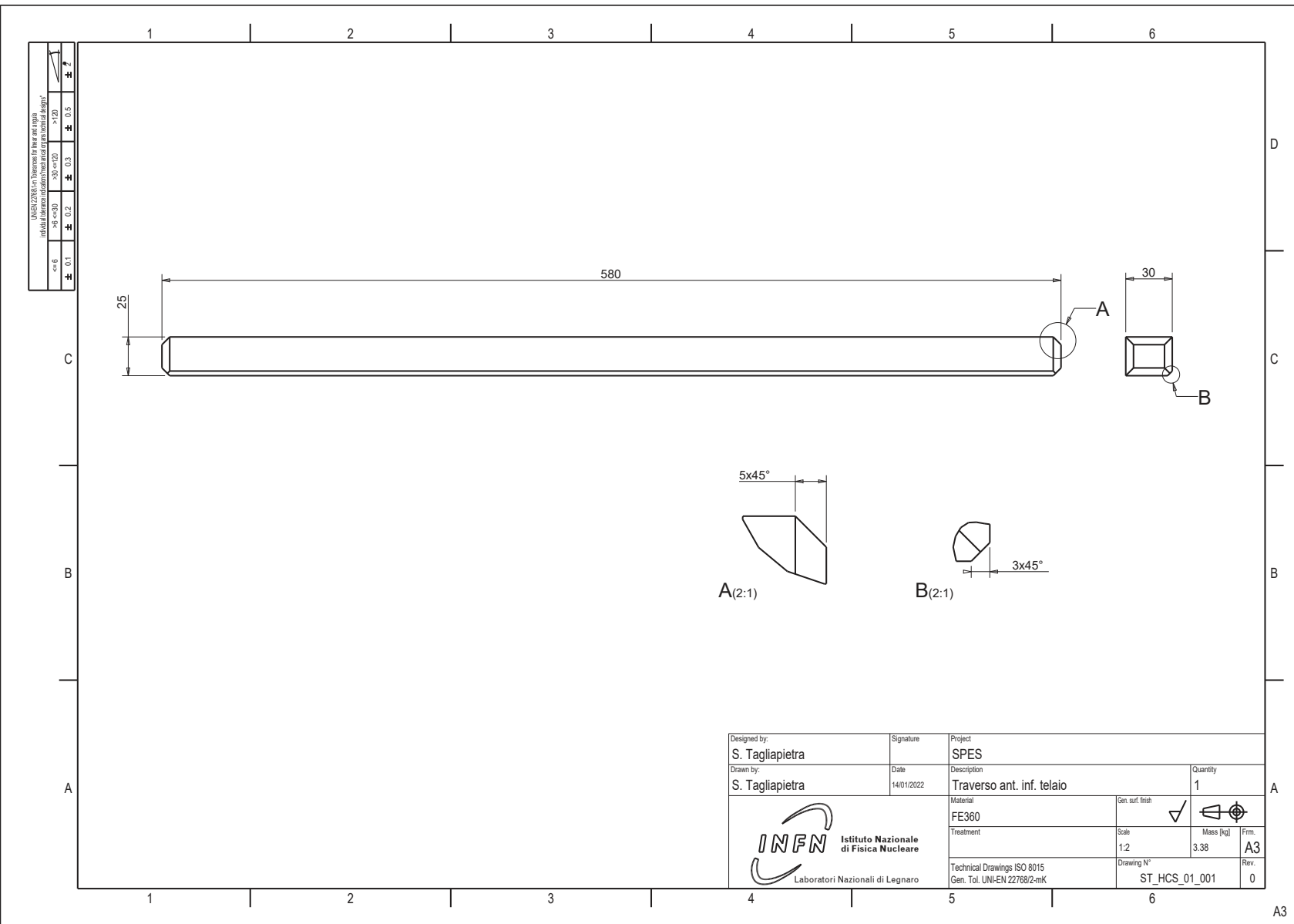


Designed by <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>		
Draft by <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description Elemento supporto posizionamento corretto molla	Quantity <b>2</b>	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>AISI304L</b>	Gen. surf. finish ✓ 	Mass [kg] 0.07	Frm. <b>A4</b>
	Treatment	Scale 1.000		
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Draft code: ST_HCS_011	Rev. <b>0</b>	

1 | 2 | 3




D.16 TRAVERSO ANTERIORE INFERIORE



UNI EN 17788 (in compliance with EN 10204) individual fabrication certificate for mechanical design

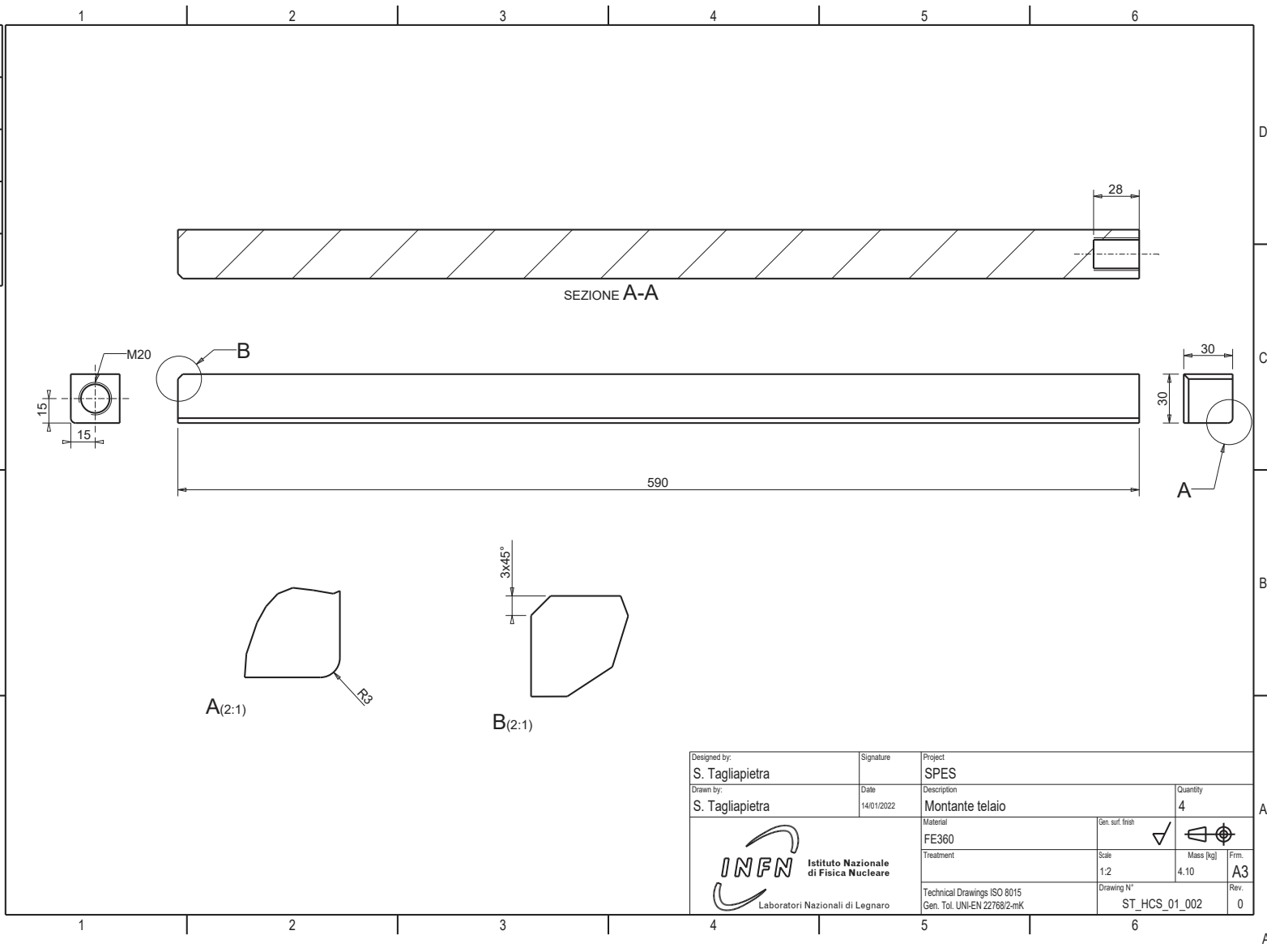
≤ 6	> 6 &lt;= 30	> 30 &lt;= 100	> 100
0.1	0.2	0.3	0.5



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso ant. inf. telaio	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 1	
		Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
		Treatment	Scale 1:2
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_01_001
		Mass [kg] 3.38	
		Frm. A3	
		Rev. 0	

A3



INTEGRITÀ E DIMENSIONI PER IL PRODOTTORE	
Indice di tolleranza in base alla tolleranza dimensionale del disegno	
≤ ± 6	0.1
> ± 6 e ≤ ± 30	0.2
> ± 30 e ≤ ± 120	0.3
> ± 120	0.5



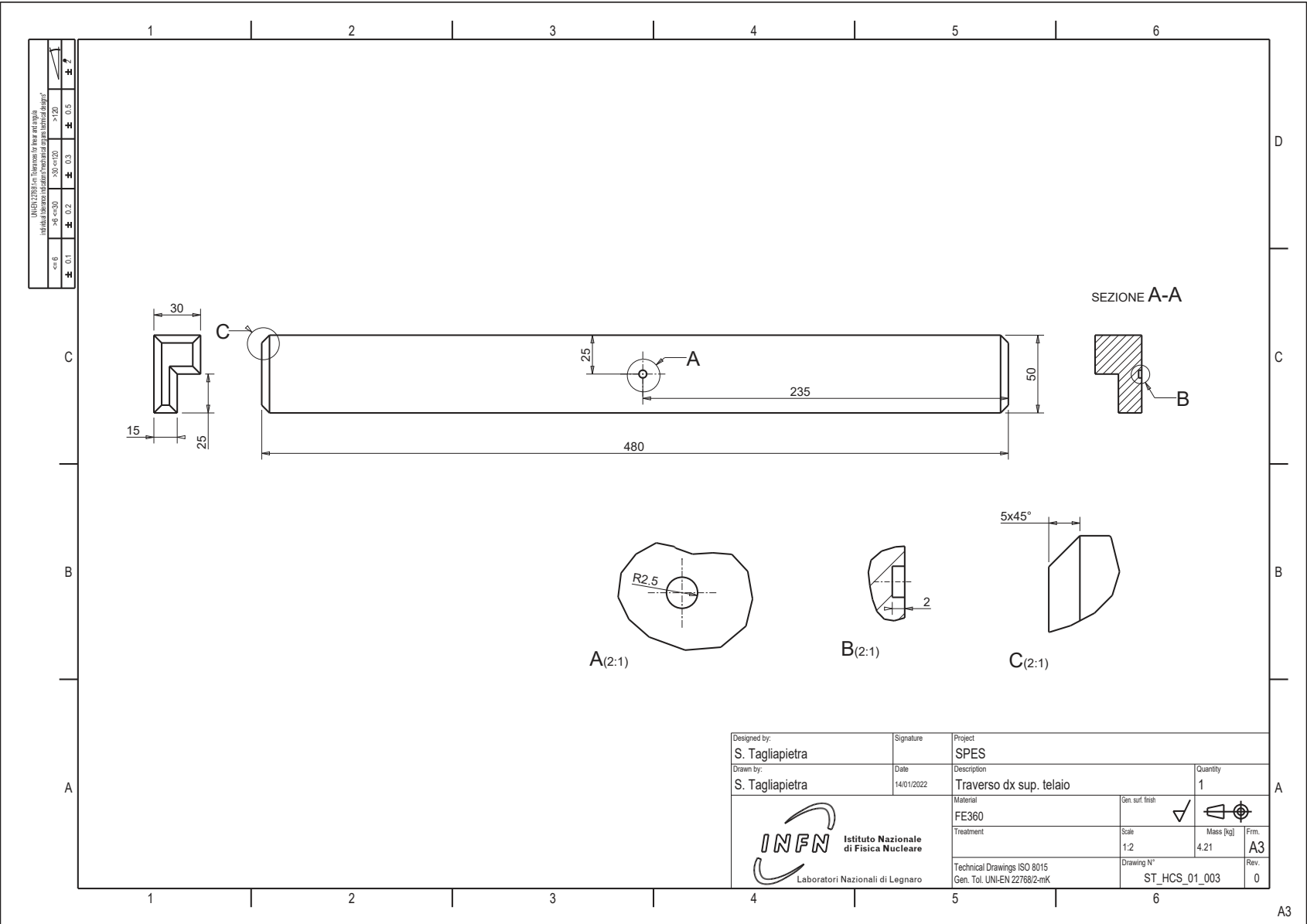
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Montante telaio
		Quantity 4
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	
	Treatment	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Scale 1:2
		Mass [kg] 4.10
		Firm. A3
		Rev. 0
		Drawing N° ST_HCS_01_002

D.17 MONTANTE

D.17 MONTANTE 193


A3

D.18 TRAVERSO DESTRO SUPERIORE



UNI EN 17091 is a European Standard for the approval of individual fabrication lots of mechanical components design.

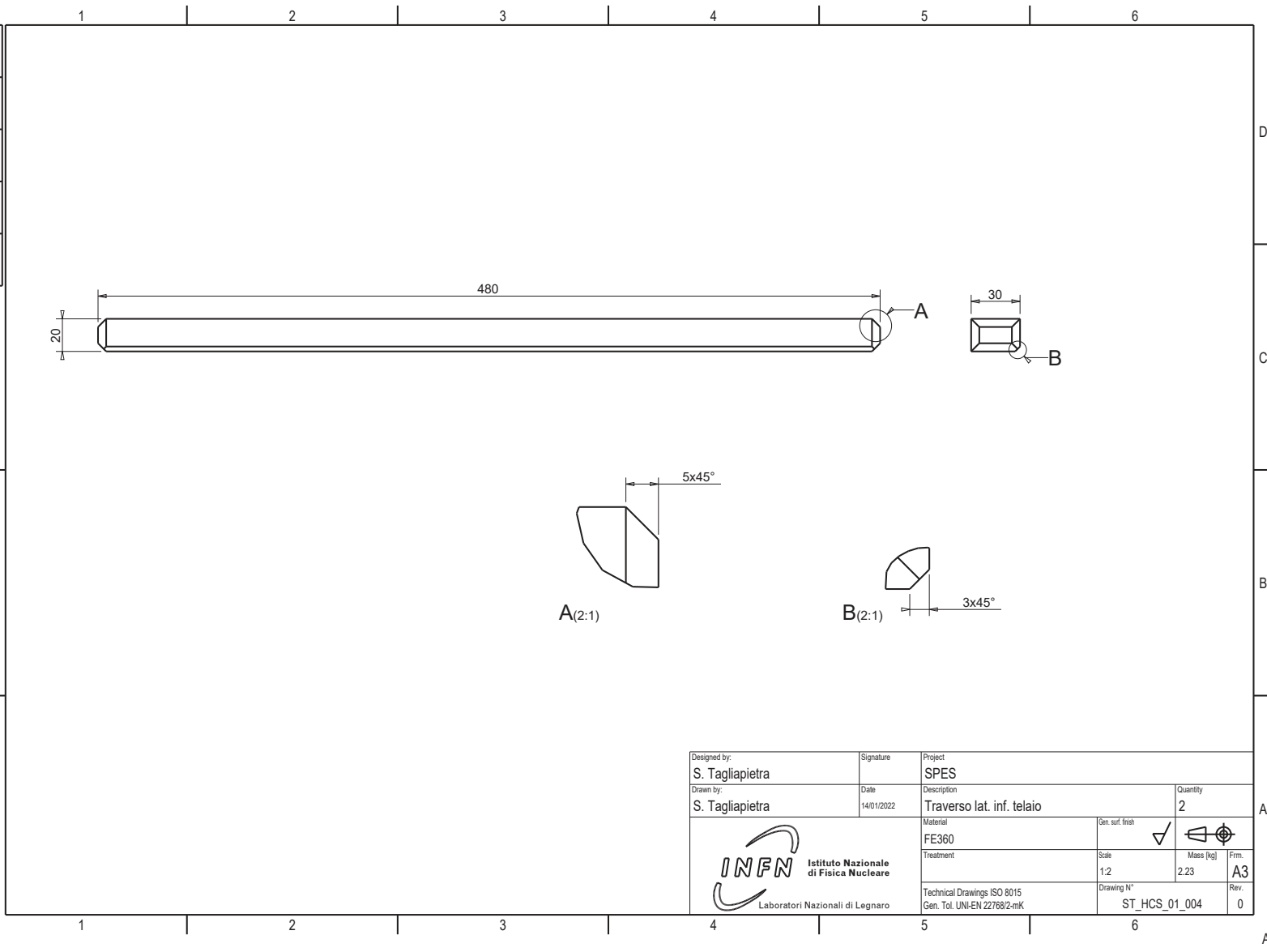
≤ 6	> 6 <= 30	> 30 <= 100	> 100
0.1	0.2	0.3	0.5


Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso dx sup. telaio
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 1
		Material FE360
Treatment	Scale 1:2	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_01_003	Mass [kg] 4.21
		Frm. A3
		Rev. 0

A3

UNI EN 17091 con Supplemento per l'uso in legno  
 Individui di fabbricazione industriale in legno laminato a strati  
 orientati (LVL)

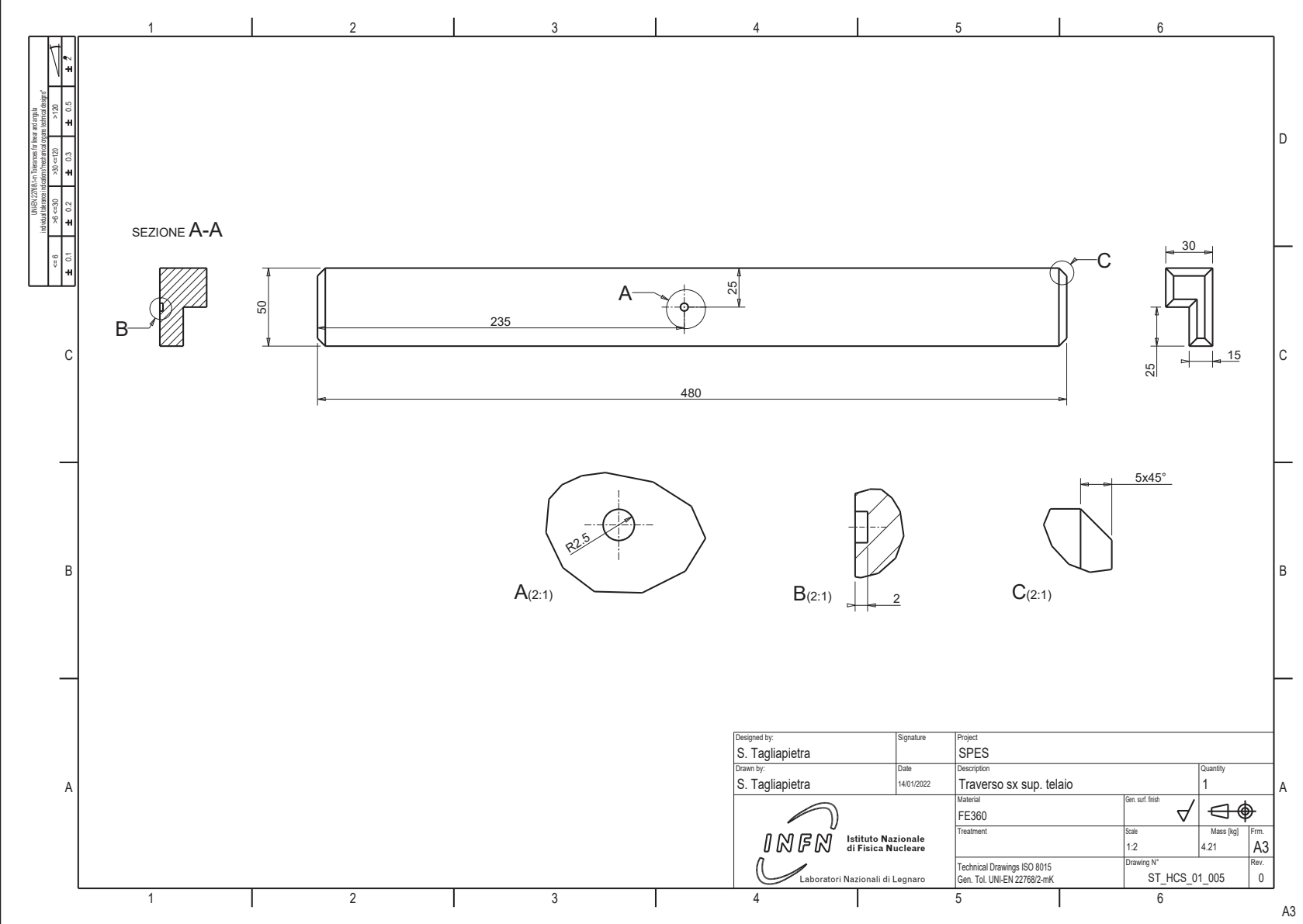
≤ 6	> 6 e ≤ 30	> 30 e ≤ 120	> 120
0.1	0.2	0.3	0.5




Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso lat. inf. telaio	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Quantity 2	
	Treatment	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>	
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Scale 1:2	Mass [kg] 2.23
		Drawing N° ST_HCS_01_004	Frm. A3
		Rev. 0	

A3

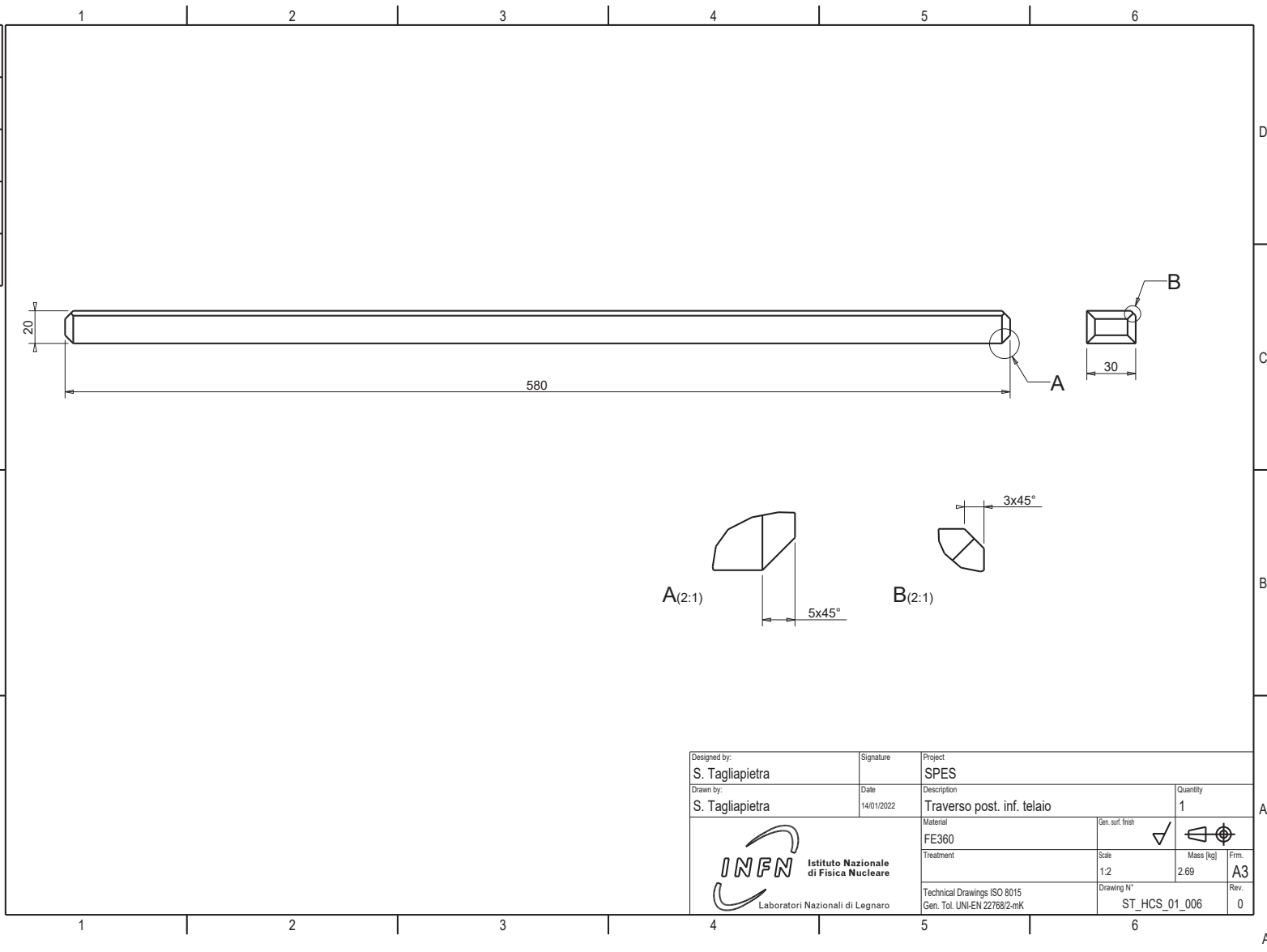
D.20 TRAVERSO SINISTRO SUPERIORE





Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso sx sup. telaio	
		Quantity 1	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>	
	Treatment	Scale 1:2	Mass [kg] 4.21
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_01_005	Frm. A3
		Rev. 0	

A3

UNI EN 17091 con Supplemento per l'uso in Italia Industria Italiana di Certificazione e Controllo Qualità	≤ 6	6 < x < 30	30 < x < 100	x > 100
	0.1	0.2	0.3	0.5



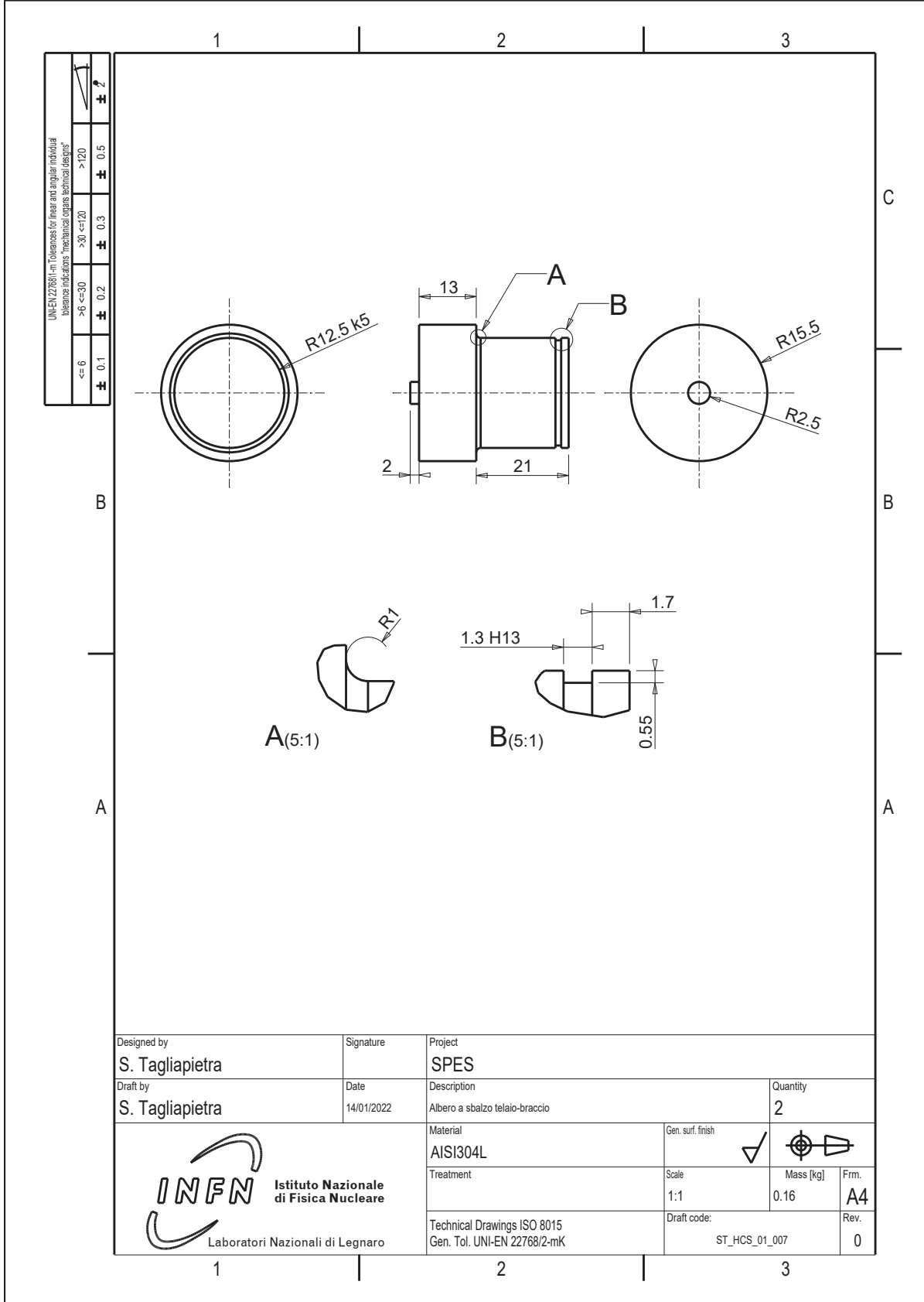
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso post. inf. telaio	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:2	Mass [kg] 2,69	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_01_006	Rev. 0	

D.21 TRAVERSO POSTERIORE INFERIORE

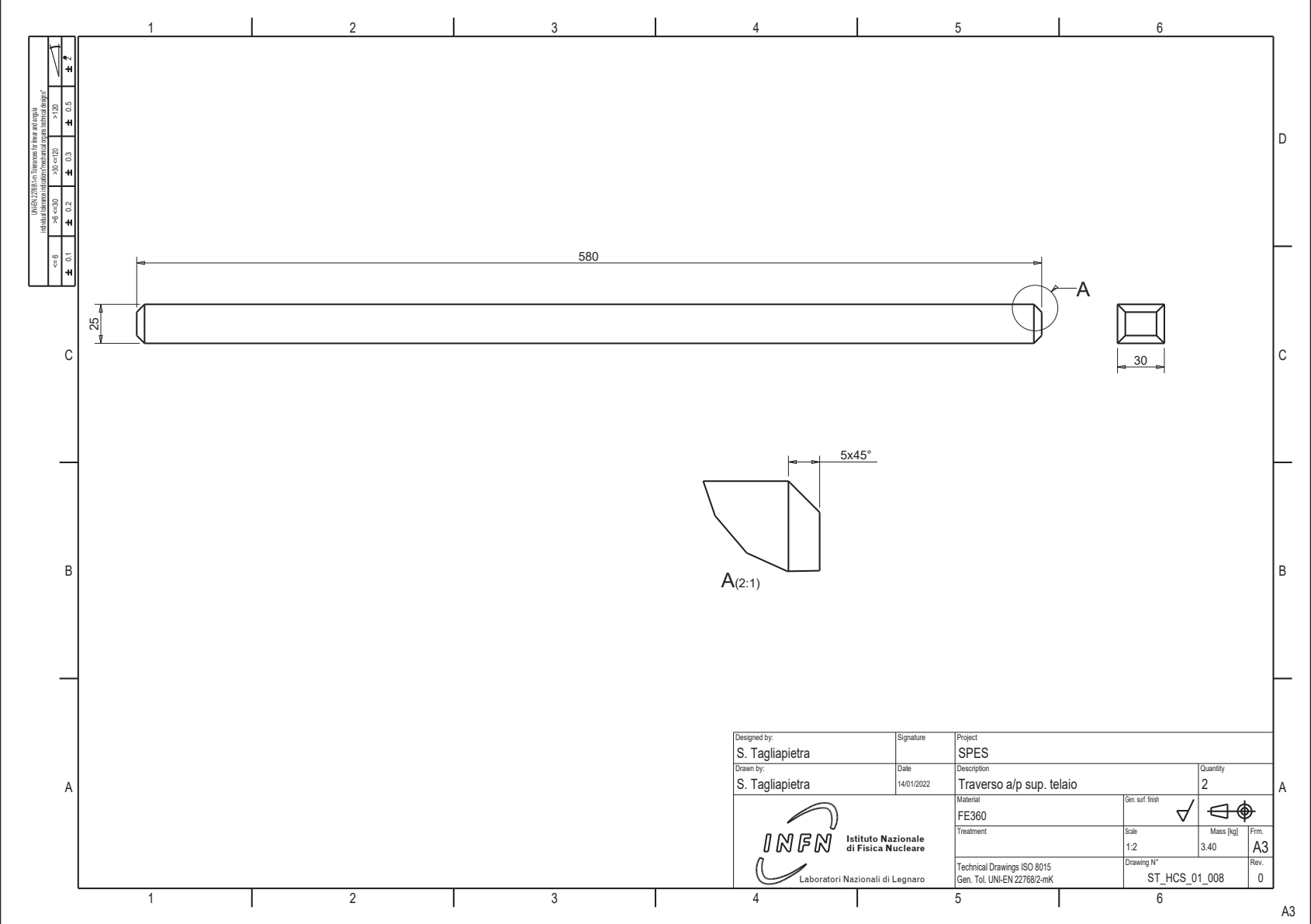
D.21 TRAVERSO POSTERIORE INFERIORE 197

A3

D.22 PERNO BRACCIO-SARCOFAGO





Designed by <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>		
Draft by <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description Albero a sbalzo telaio-braccio	Quantity <b>2</b>	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>AISI304L</b>	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 	Mass (kg) 0.16	Frm. <b>A4</b>
	Treatment	Scale 1:1	Draft code: ST_HCS_01_007	Rev. <b>0</b>
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK			



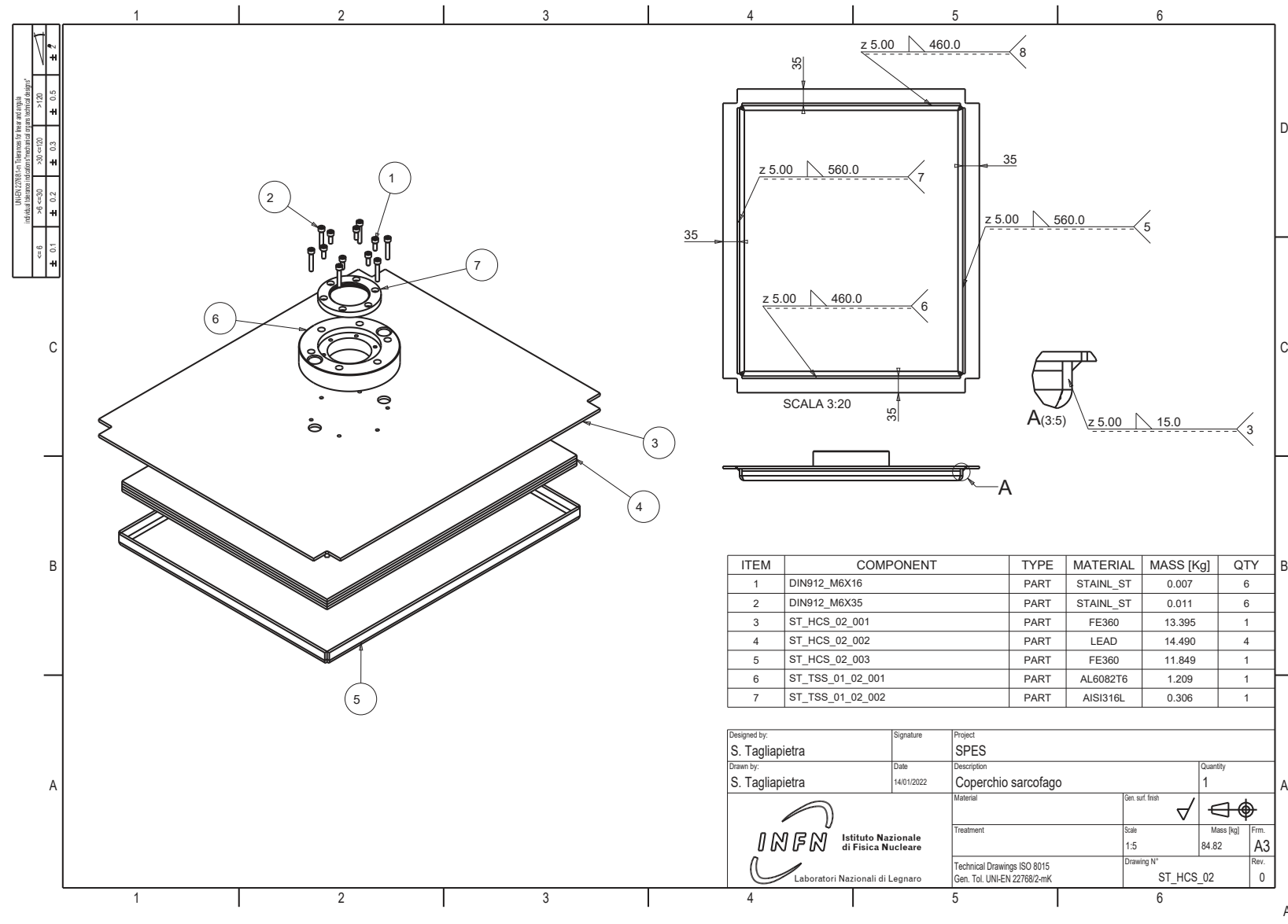
UNI EN ISO 17025 con Approvazione per Prove e Verifica Individuale (laboratorio di calibrazione meccanica e geometria) design\*

≤ 6	0.1	0.2	0.3	0.5	1
> 6 <= 30	0.2	0.3	0.5	1	2
> 30 <= 100	0.3	0.5	1	2	5
> 100	0.5	1	2	5	10

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso a/p sup. telaio	Quantity 2	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:2	Mass [kg] 3.40	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_01_008	Rev. 0	

A3

D.24 COPERCHIO



INFERNO: per un'esperienza di lavoro più completa, individualizzare i valori di tolleranza e di finitura in base al disegno.

z	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
z	>	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
z	>	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
z	>	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0

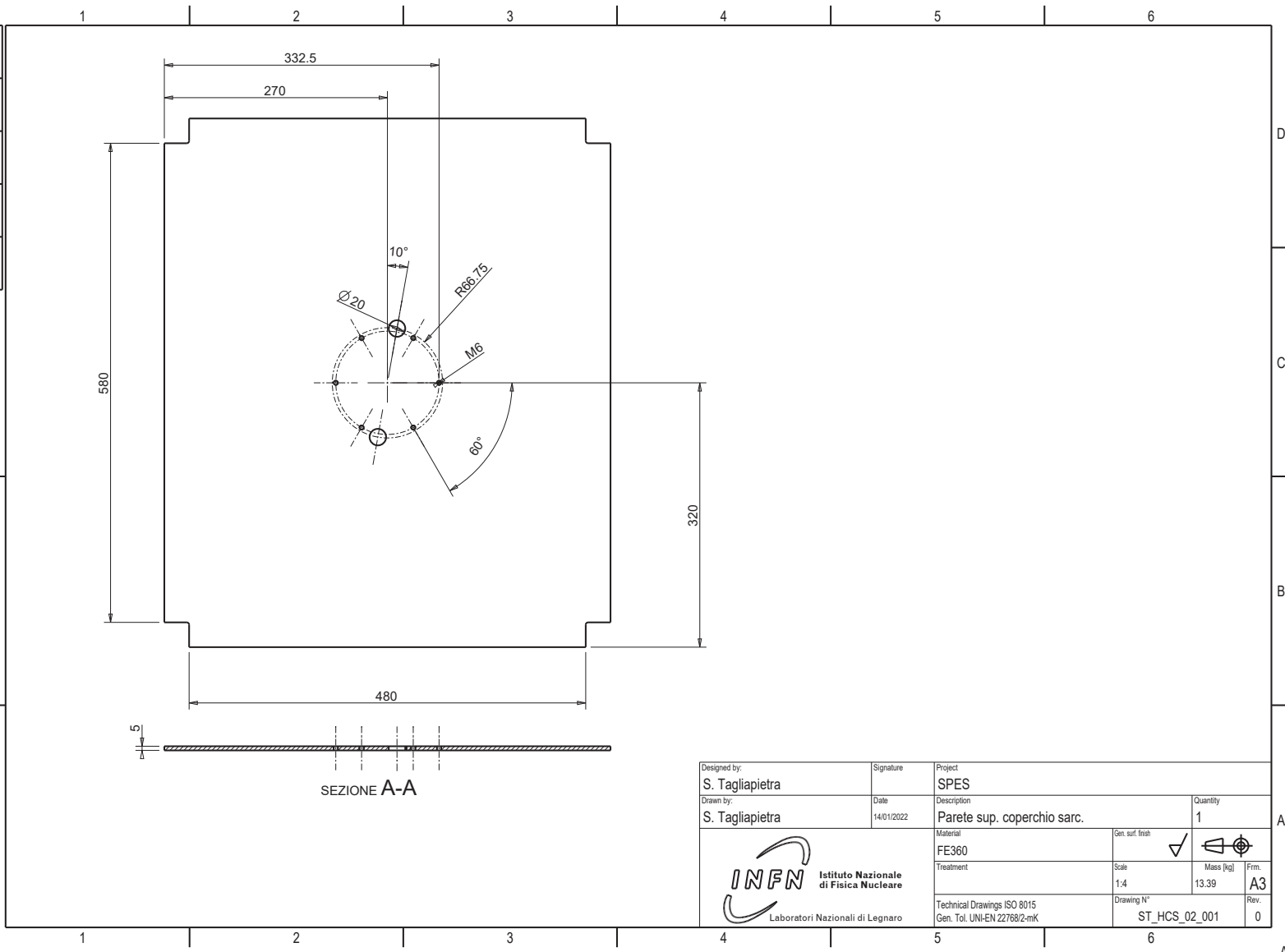
ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	DIN912_M6X16	PART	STAINL_ST	0.007	6
2	DIN912_M6X35	PART	STAINL_ST	0.011	6
3	ST_HCS_02_001	PART	FE360	13.395	1
4	ST_HCS_02_002	PART	LEAD	14.490	4
5	ST_HCS_02_003	PART	FE360	11.849	1
6	ST_TSS_01_02_001	PART	AL6082T6	1.209	1
7	ST_TSS_01_02_002	PART	AISI316L	0.306	1

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Coperchio sarcofago
		Quantity 1
		Material Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Treatment Scale 1:5		Mass [kg] 84.82
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Drawing N° ST_HCS_02
		Firm. A3
		Rev. 0



A3



UNI EN 17091 per dimensioni fino a 100 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 100 a 120 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 120 a 200 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 200 a 300 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 300 a 500 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 500 a 1000 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 1000 a 2000 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 2000 a 5000 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1
UNI EN 17091 per dimensioni da 5000 a 10000 mm	0.1	0.2	0.3	0.5	1



SEZIONE A-A

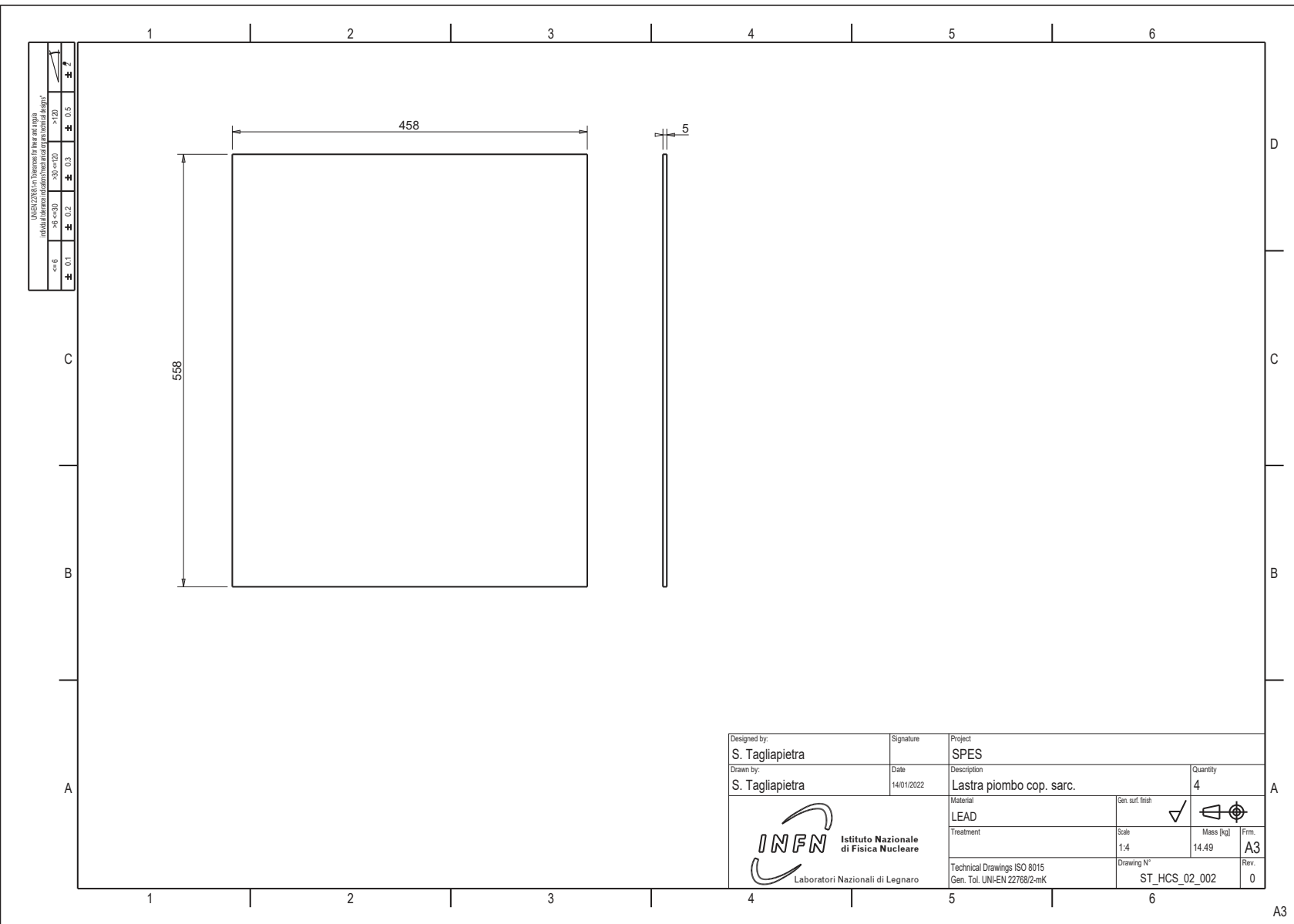
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete sup. coperchio sarc.	Quantity 1	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 13.39	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_02_001	Rev. 0	

D.25 PARETE SUPERIORE

D.25 PARETE SUPERIORE 201



A3

D.26 LASTRA PIOMBO



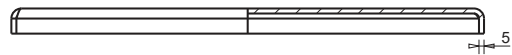
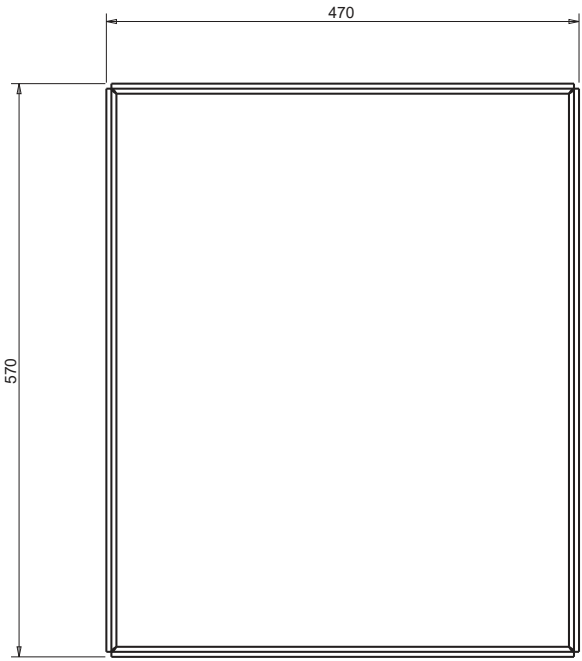
INFORMAZIONE PER IL CLIENTE

1.0	g = >
2.0	g <=
3.0	g <=
4.0	g <=
5.0	g <=
> 100	g <=

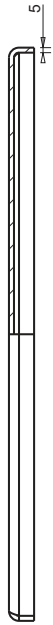
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Lastra piombo cop. sarc.
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 4
		Material LEAD
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
		Scale 1:4
		Mass [kg] 14.49
		Firm. A3
		Drawing N° ST_HCS_02_002
		Rev. 0

A3

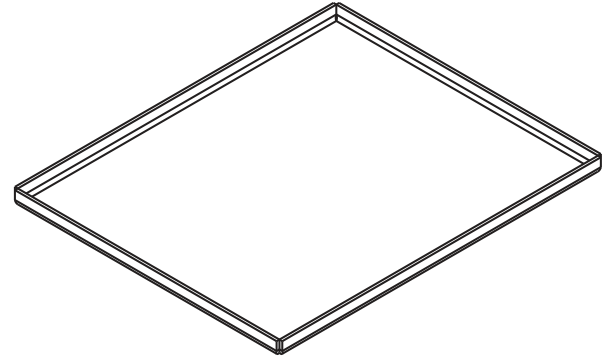
INFN	5.0	3
> 120	0.3	3
200 <= 120	0.2	3
50 <= 200	0.2	3
<= 50	1.0	3





SEZIONE A-A



SEZIONE B-B



SCALA 1:5

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete inf. cop. sarc.	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 11.85	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_02_003	Rev. 0	

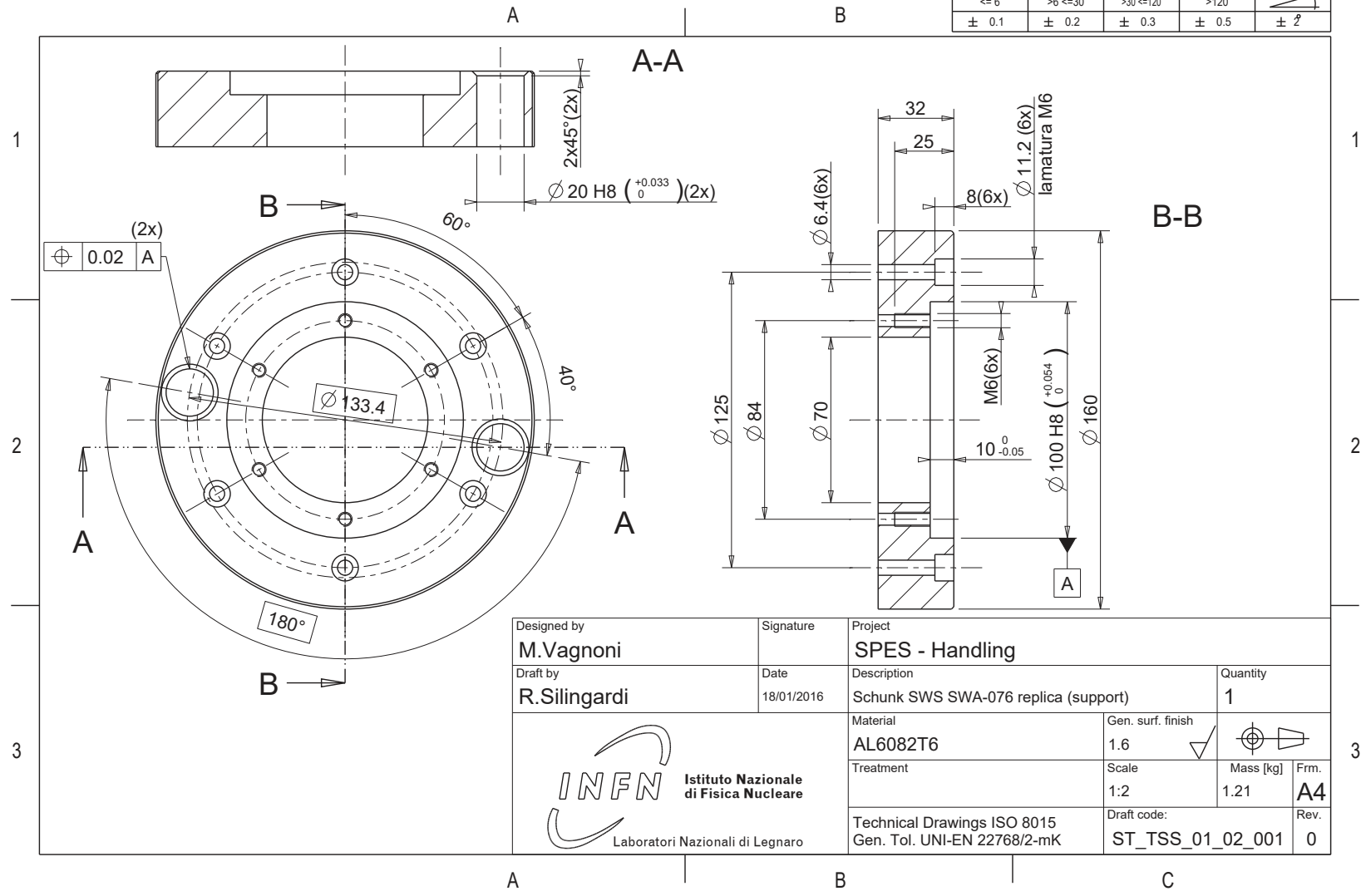
D.27 PARETE INFERIORE

D.27 PARETE INFERIORE 203

A3

D.28 REPLICA SCHUNK (SUPPORTO)

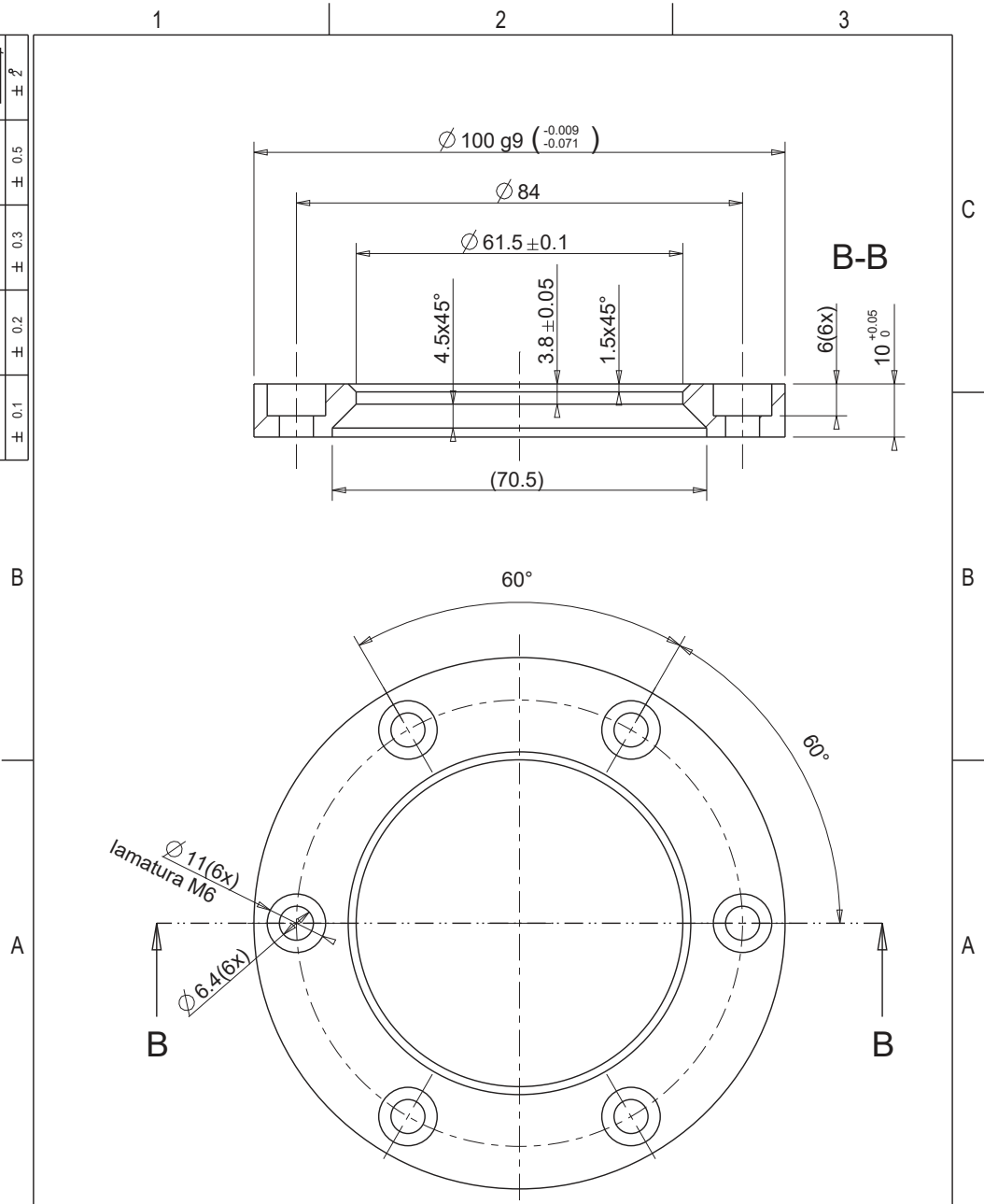
UNI-EN 22768:1-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"				
<= 6	>6 <=30	>30 <=120	>120	
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± ?





Designed by <b>M. Vagnoni</b>	Signature	Project <b>SPES - Handling</b>		
Draft by <b>R. Silingardi</b>	Date 18/01/2016	Description Schunk SWS SWA-076 replica (support)	Quantity <b>1</b>	
<p><b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro</p>		Material <b>AL6082T6</b>	Gen. surf. finish 1.6	Frm. <b>A4</b>
		Treatment	Scale 1:2	
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Draft code: <b>ST_TSS_01_02_001</b>

D.29 REPLICA SCHUNK (ANELLO)

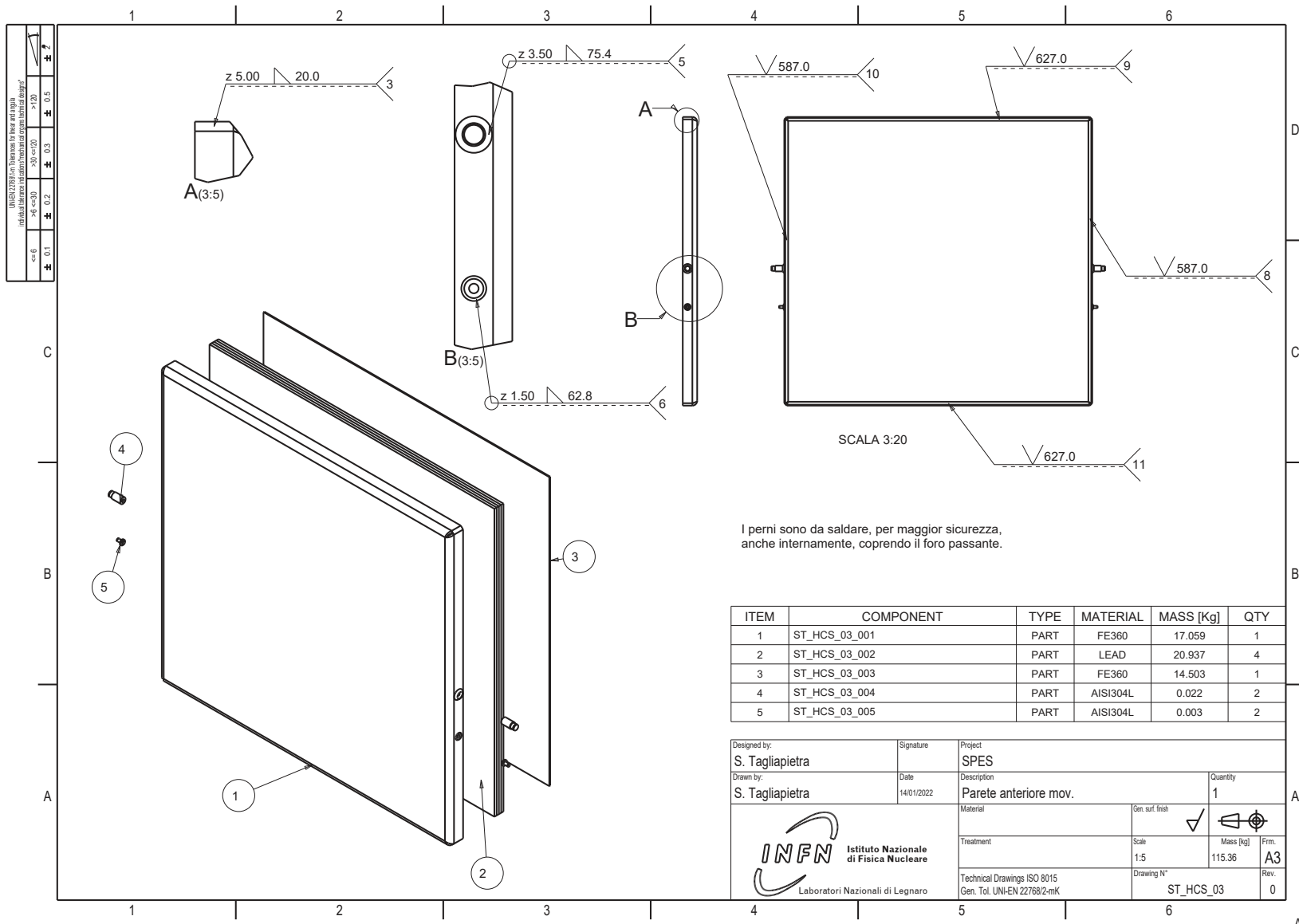
UNI-EN 22768/2-mk tolerances for linear and angular individual tolerances indications, "mechanical copars technical designs"			
<=6	>6 <=30	>30 <=120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± ?



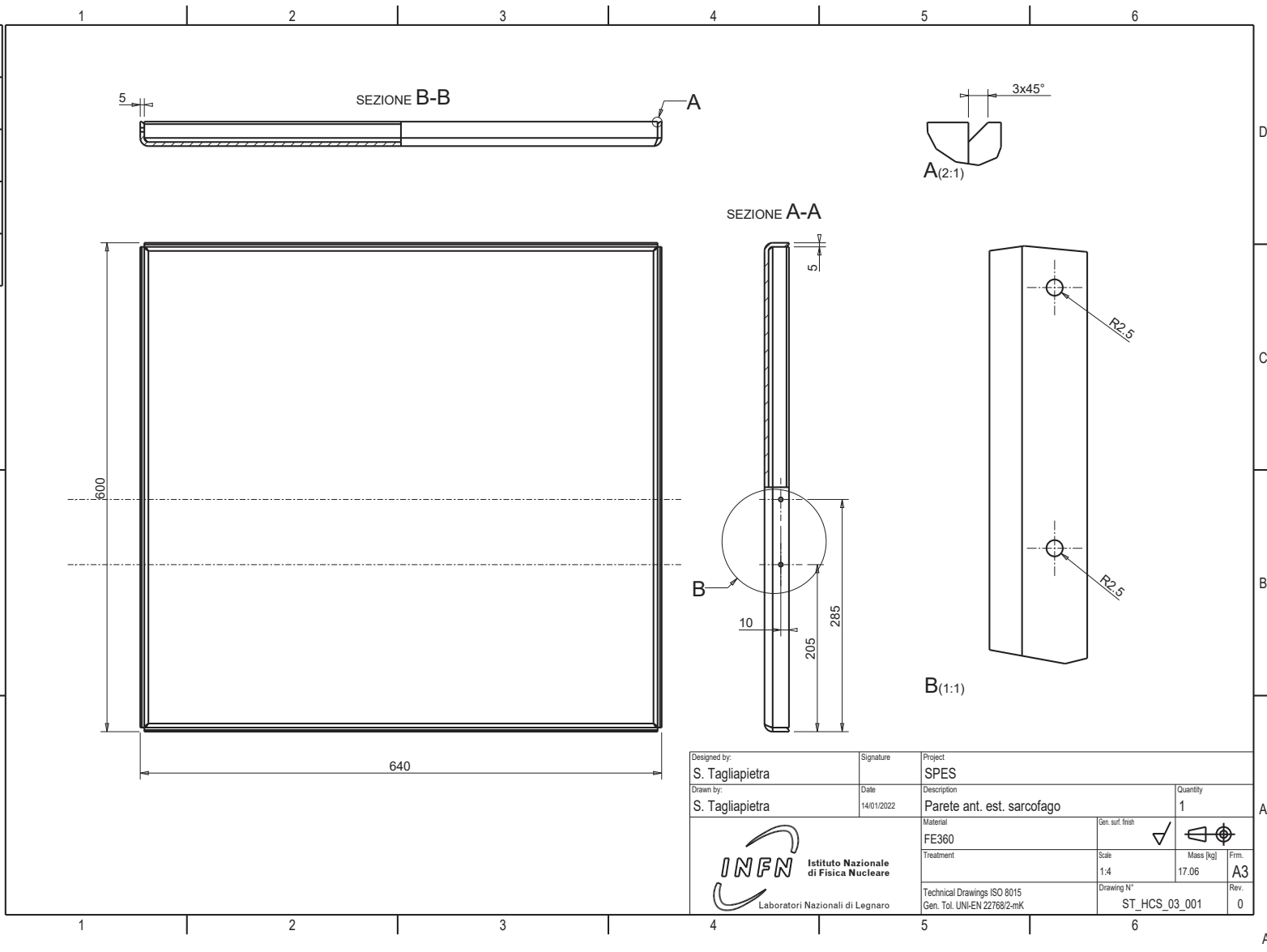
Designed by <b>M. Vagnoni</b>	Signature	Project <b>SPES - Handling</b>		
Draft by <b>Silingardi R.</b>	Date 18/01/2016	Description Schunk SWS SWA-076 replica (ring)	Quantity 1	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>AISI316L</b>	Gen. surf. finish 1.6 (0.8)		
	Treatment	Scale 1:1	Mass (kg) 0.31	Frm. <b>A4</b>
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Draft code: <b>ST_TSS_01_02_002</b>	Rev. <b>0</b>	



1 2 3

D.30 PARETE ANTERIORE APRIBILE



UNI EN 13788	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0
Individual tolerance for linear dimensions	<= 6	<= 30	<= 100	<= 300	<= 1000	> 1000
Individual tolerance for circular dimensions	<= 6	<= 30	<= 100	<= 300	<= 1000	> 1000



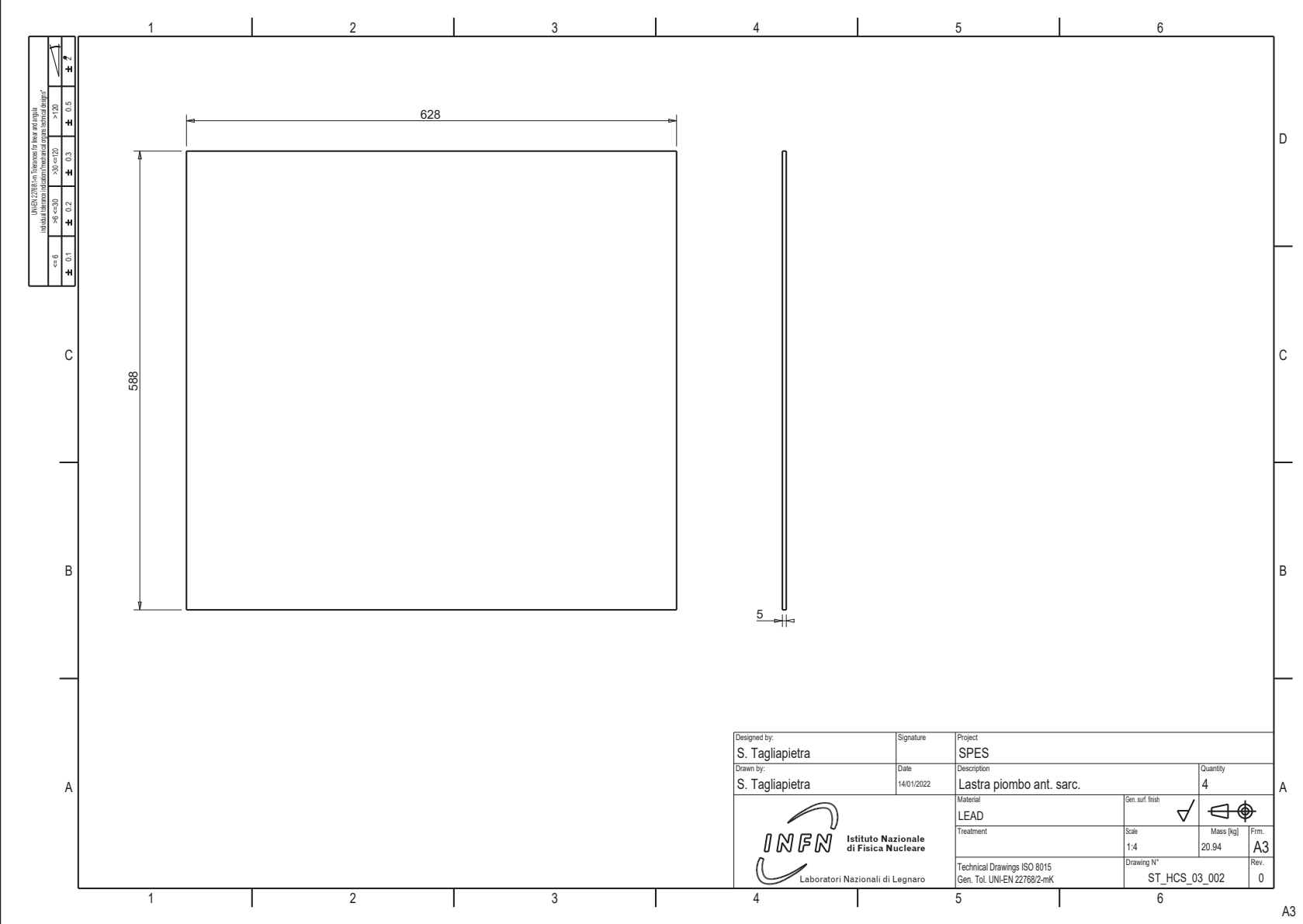
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete ant. est. sarcofago	Quantity 1	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 17.06	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_03_001	Rev. 0	

D.31 PARTE ESTERNA

D.31 PARTE ESTERNA 207



A3

D.32 LASTRA PIOMBO



UNI EN 17091 is an European Standard for the approval of individual laboratories in order to ensure the technical design of

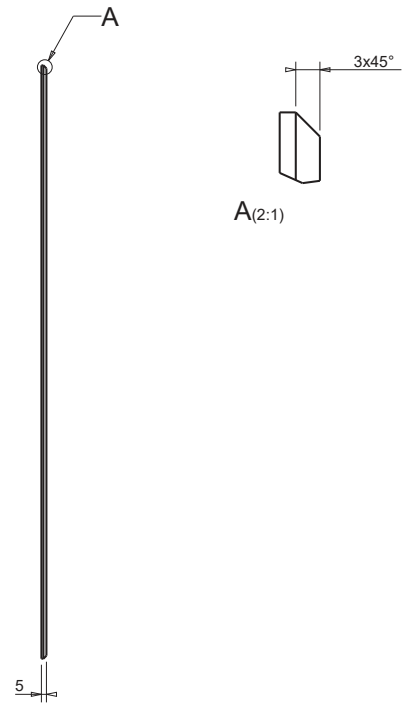
≤ 9	1.0
9 < x < 30	0.2
30 ≤ x < 100	0.3
100 ≤ x < 1000	0.5
> 1000	1.0



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Lastra piombo ant. sarc.
		Quantity 4
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material LEAD	
	Treatment	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Scale 1:4
	Drawing N° ST_HCS_03_002	Mass [kg] 20.94
		Frm. A3
		Rev. 0

A3



UNI EN 17788 (in compliance for new and existing individuals fabrication and technical drawing design)	0.5	0.3	0.2	0.1
> 120	+	+	+	+
300 <= 120	+	+	+	+
75 <= 300	+	+	+	+
<= 75	+	+	+	+



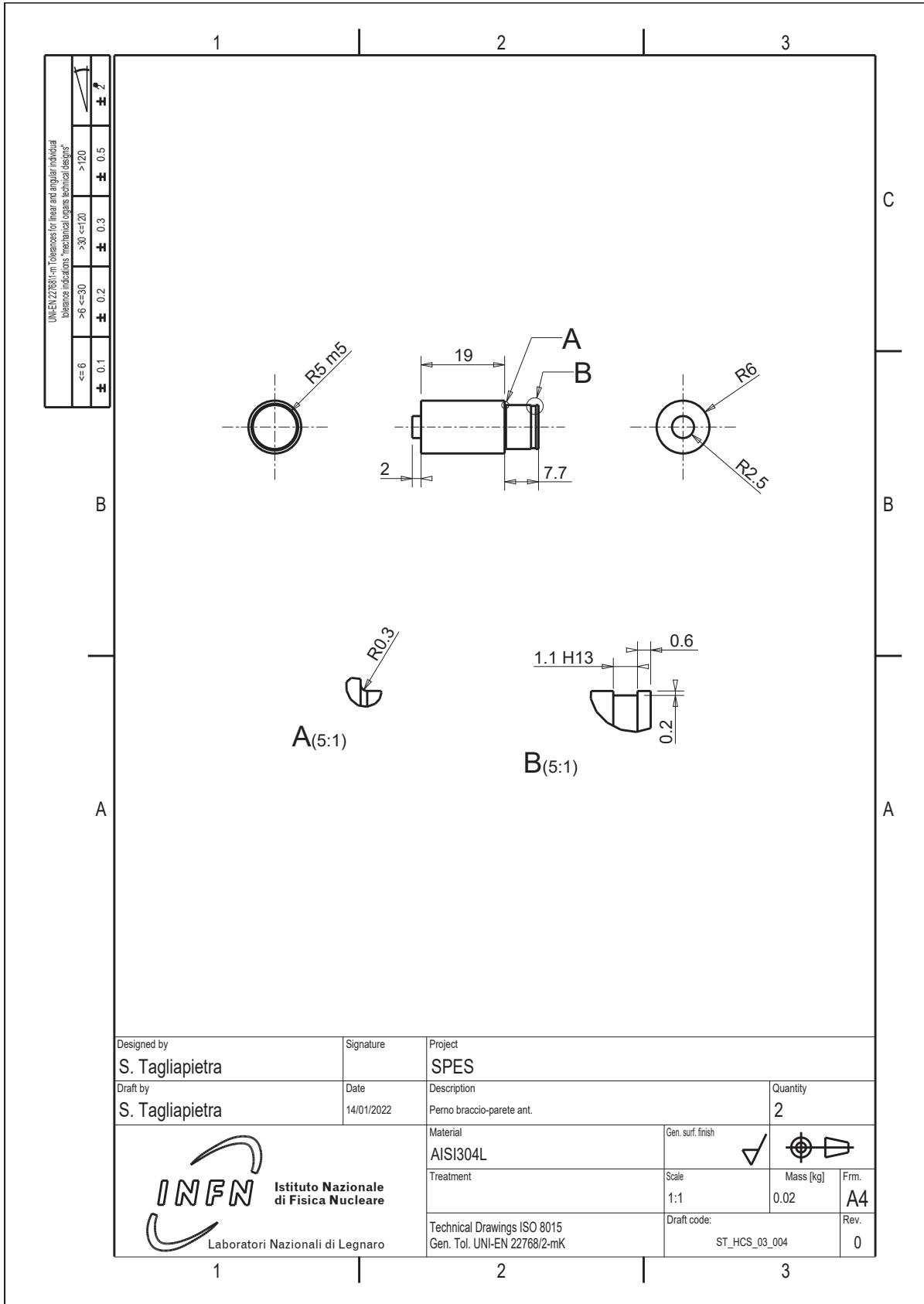
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Parete ant. int. sarcofago	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:4	Mass [kg] 14.50	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_03_003	Rev. 0	

D.33 PARTE INTERNA

D.33 PARTE INTERNA 209

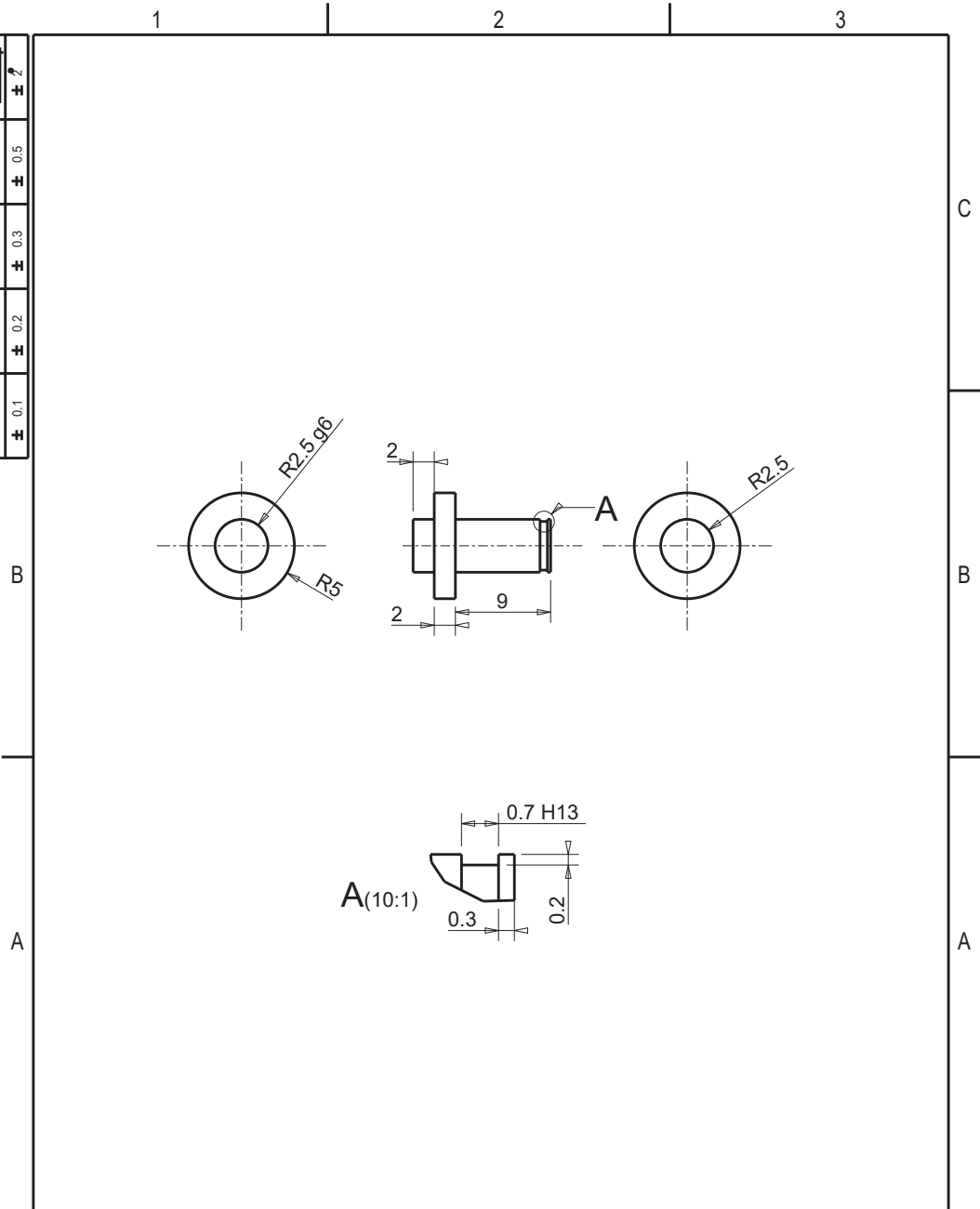
A3



D.34 PERNO BRACCIO-PARETE FRONTALE



D.35 PERNO BRACCIO SUPPORTO

UNI-EN 22768/1 - m (tolerances for linear and angular individual tolerances indications, "mechanical congs technical designs")	
<=6	± 0.1
>6 <=30	± 0.2
>30 <=120	± 0.3
>120	± 0.5
	± ?

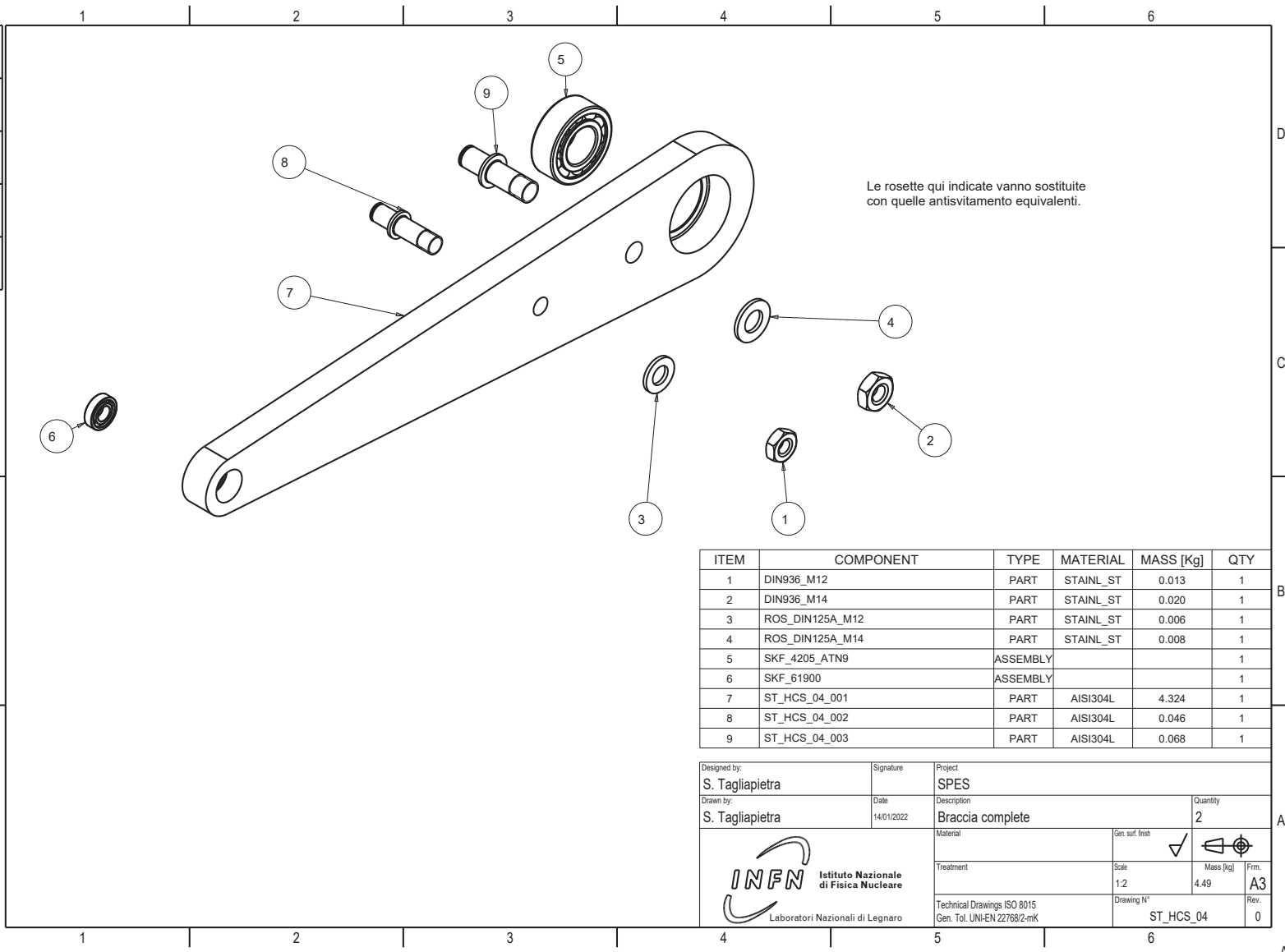


Designed by <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>		
Draft by <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description Perno supporto-parete ant. (o sarcofago)	Quantity <b>4</b>	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>AISI304L</b>	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 	Mass (kg) 0.00	Frm. <b>A4</b>
	Treatment	Scale 2:1	Draft code: ST_HCS_03_005	Rev. <b>0</b>
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK			



1 2 3

D.36 BRACCIA PRINCIPALI E ACCESSORI

UNI EN 10303	1.0	+
UNI EN 10303	2.0	+
UNI EN 10303	3.0	+
UNI EN 10303	4.0	+
UNI EN 10303	5.0	+
UNI EN 10303	6.0	+
UNI EN 10303	7.0	+
UNI EN 10303	8.0	+
UNI EN 10303	9.0	+
UNI EN 10303	10.0	+
UNI EN 10303	11.0	+
UNI EN 10303	12.0	+
UNI EN 10303	13.0	+
UNI EN 10303	14.0	+
UNI EN 10303	15.0	+
UNI EN 10303	16.0	+
UNI EN 10303	17.0	+
UNI EN 10303	18.0	+
UNI EN 10303	19.0	+
UNI EN 10303	20.0	+
UNI EN 10303	21.0	+
UNI EN 10303	22.0	+
UNI EN 10303	23.0	+
UNI EN 10303	24.0	+
UNI EN 10303	25.0	+
UNI EN 10303	26.0	+
UNI EN 10303	27.0	+
UNI EN 10303	28.0	+
UNI EN 10303	29.0	+
UNI EN 10303	30.0	+



ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	DIN936_M12	PART	STAINL_ST	0.013	1
2	DIN936_M14	PART	STAINL_ST	0.020	1
3	ROS_DIN125A_M12	PART	STAINL_ST	0.006	1
4	ROS_DIN125A_M14	PART	STAINL_ST	0.008	1
5	SKF_4205_ATN9	ASSEMBLY			1
6	SKF_61900	ASSEMBLY			1
7	ST_HCS_04_001	PART	AISI304L	4.324	1
8	ST_HCS_04_002	PART	AISI304L	0.046	1
9	ST_HCS_04_003	PART	AISI304L	0.068	1

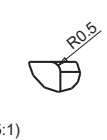
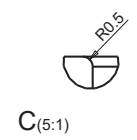
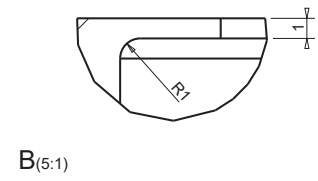
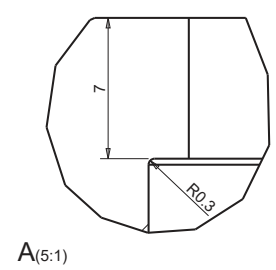
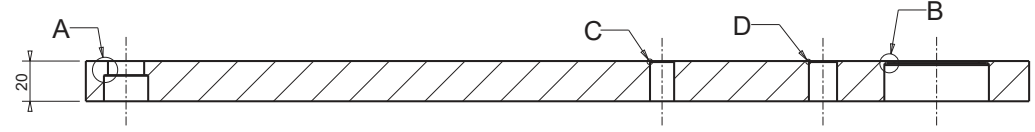
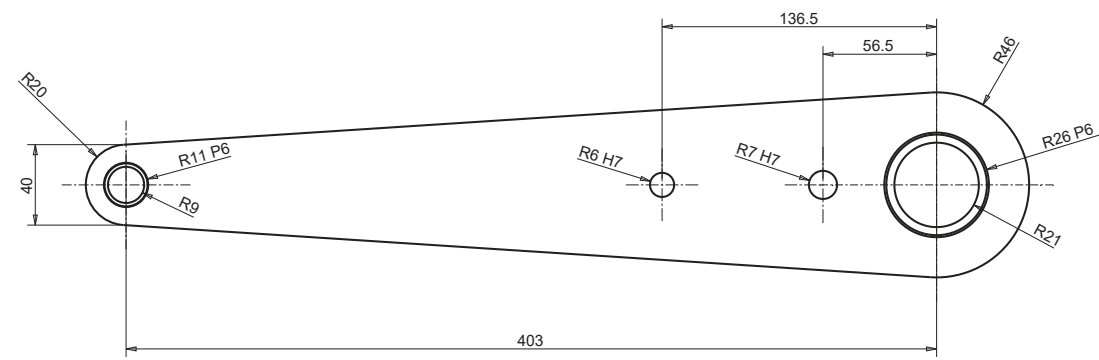
Designed by: <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>
Drawn by: <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description <b>Braccia complete</b>
		Quantity <b>2</b>
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material: Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>  Treatment: Scale 1:2 Mass [kg]: 4.49 Firm: <b>A3</b> Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK Drawing N°: <b>ST_HCS_04</b> Rev.: <b>0</b>



A B C D

1 2 3 4 5 6

A3

INFC 1788 per Disegni per fine e profilo	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05
individuali (braccio in acciaio) (braccio in alluminio)	>120	300 <= 120	>6 <= 30	<= 6	<= 6



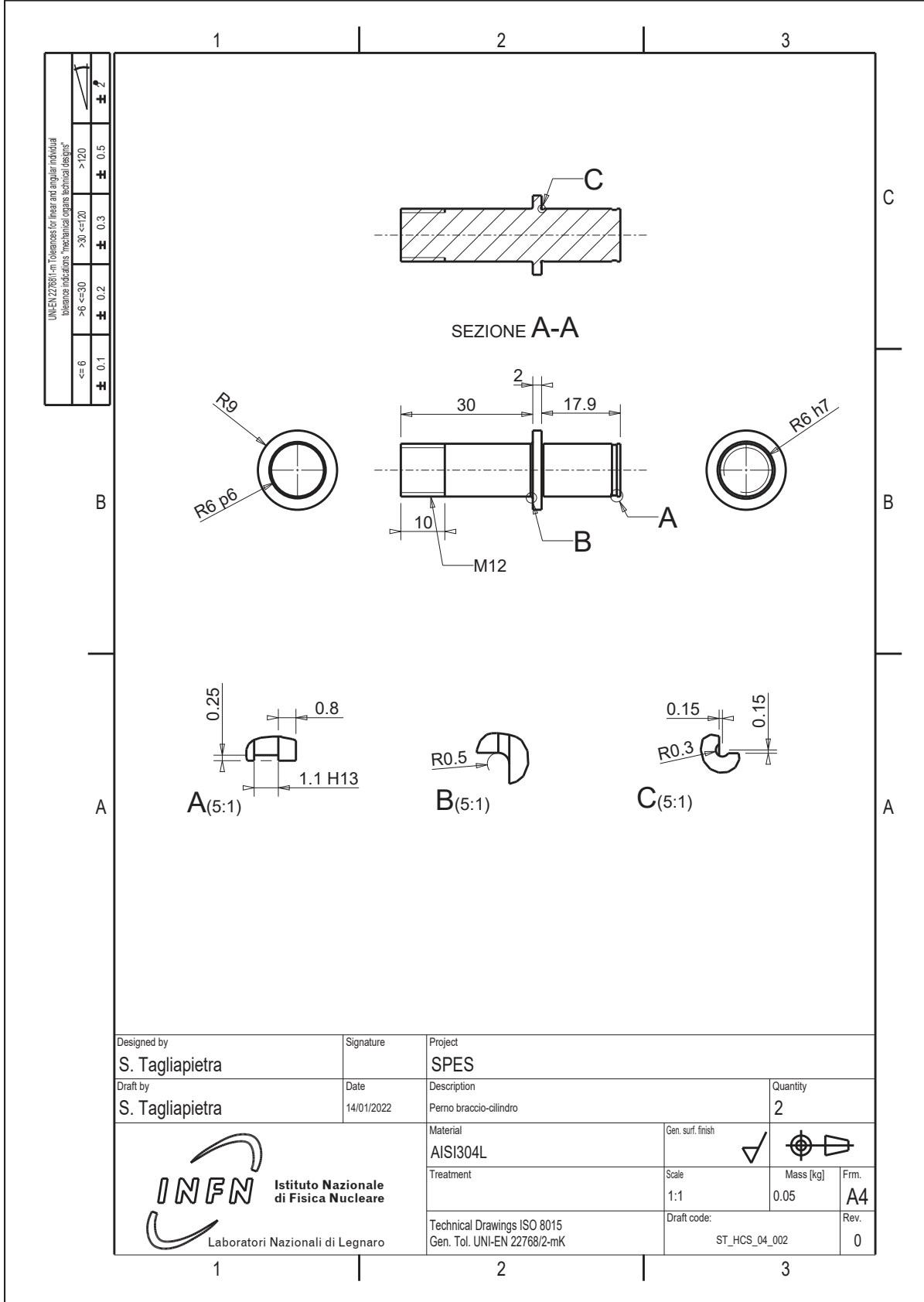
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Braccia soll. parete ant.	Quantity 2	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material AISI304L	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>	
		Treatment	Scale 1:2	
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Drawing N° ST_HCS_04_001	Firm. A3	Rev. 0

D.37 BRACCIA PRINCIPALI

D.37 BRACCIA PRINCIPALI 213

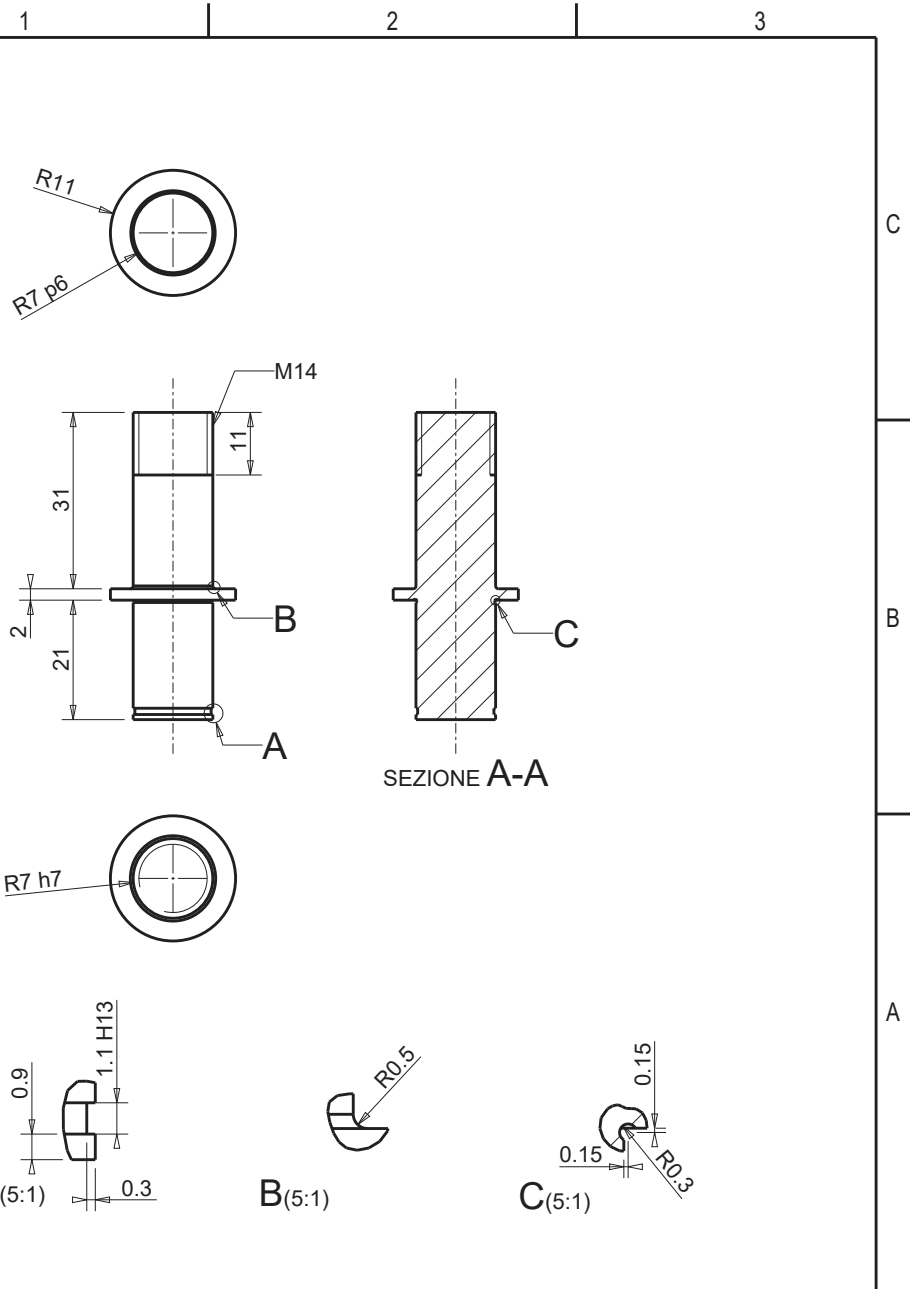
A3



D.38 PERNO BRACCIO-CILINDRO



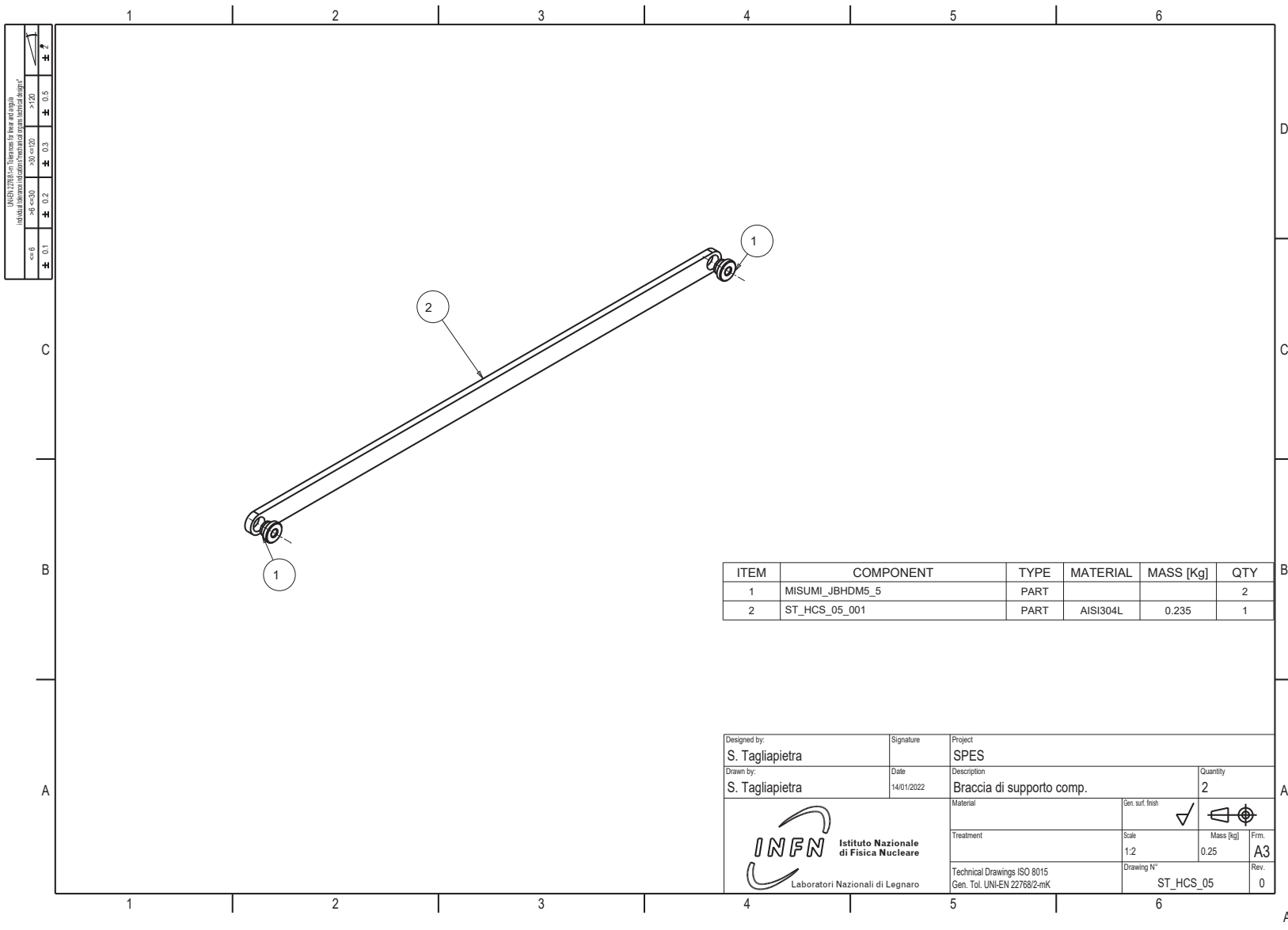
D.39 PERNO BRACCIO-MOLLA

UNI-EN 22768/1 - m (tolerances for linear and angular individual tolerances indications, "mechanical design technical designs")			
<=6	>6 <=30	>30 <=120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± ?



Designed by <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>		
Draft by <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description Perno braccio-molla a gas	Quantity <b>2</b>	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>AISI304L</b>	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 	Mass [kg] 0.07	Frm. <b>A4</b>
	Treatment	Scale 1:1	Draft code: ST_HCS_04_003	Rev. <b>0</b>
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK			

D.40 BRACCIA SUPPORTO E ACCESSORI



INFORMAZIONE PER IL CLIENTE

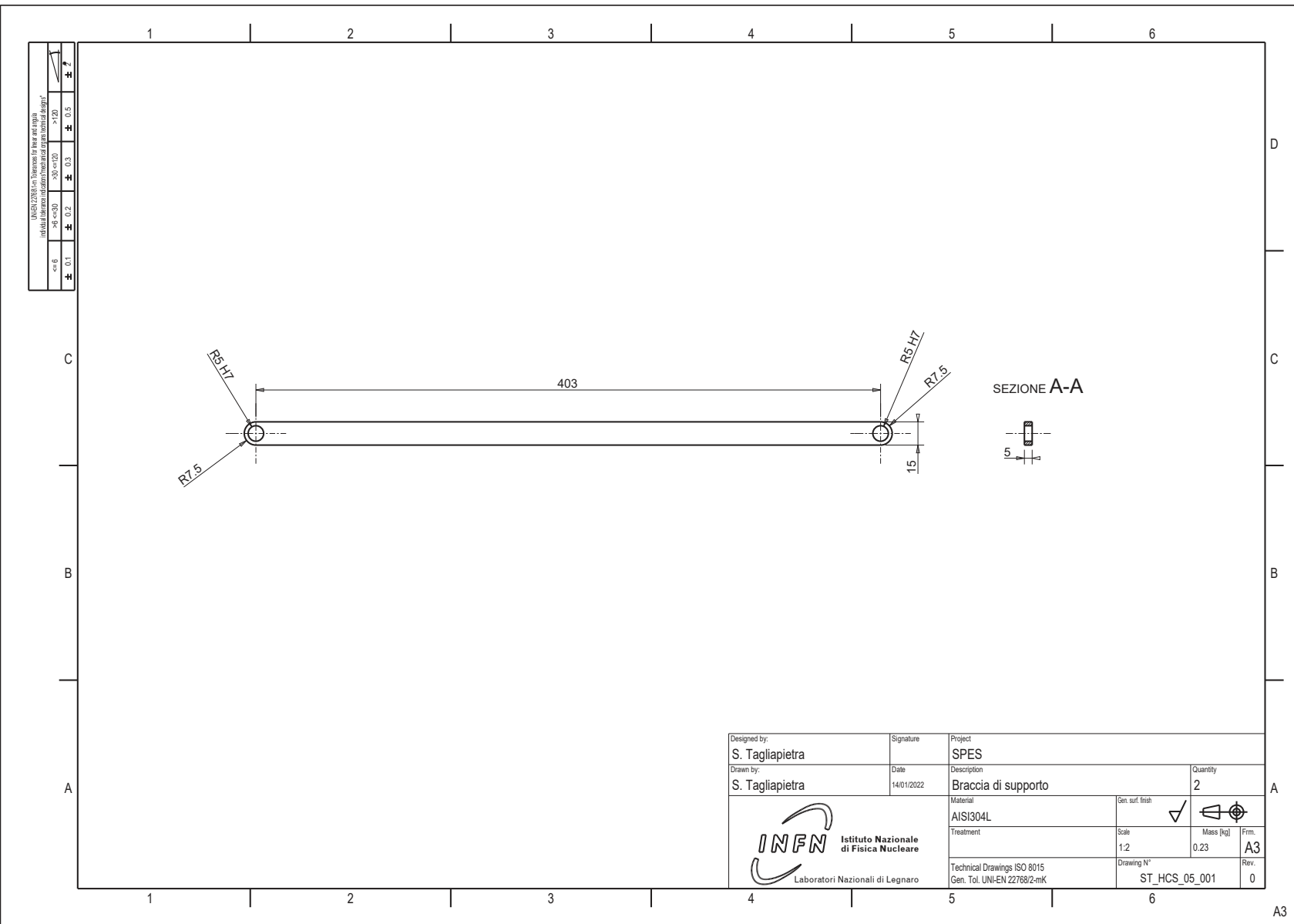
1.0	g=	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10
1.0	g=	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10
1.0	g=	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	MISUMI_JBHDMS_5	PART			2
2	ST_HCS_05_001	PART	AISI304L	0.235	1



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Braccia di supporto comp.
Material		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Treatment		Scale 1:2
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Mass [kg] 0.25
Laboratori Nazionali di Legnaro		Frm. A3
		Rev. 0
		Drawing N° ST_HCS_05

A3



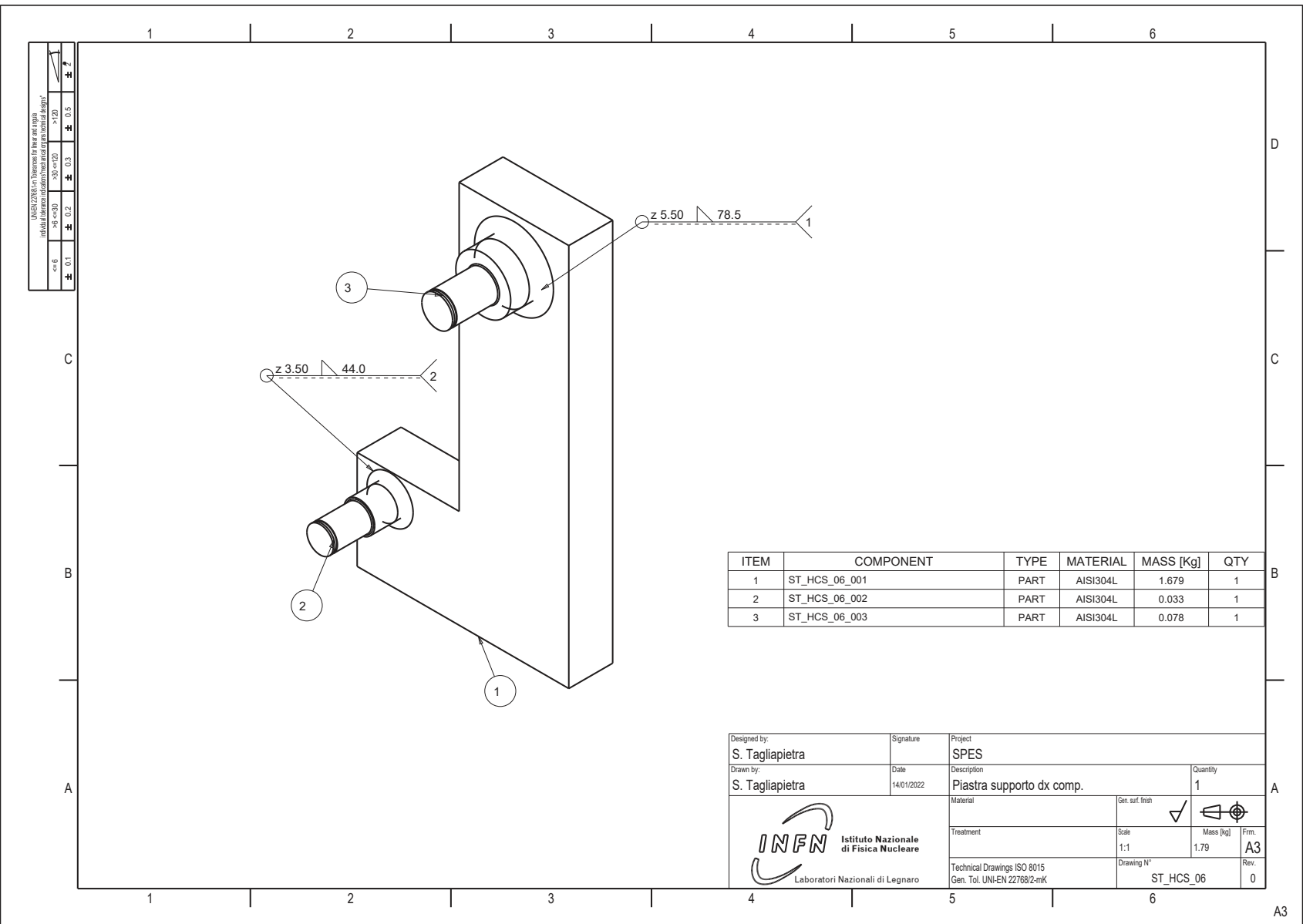


1.0	g=
2.0	g<=
3.0	g<=
4.0	g<=
5.0	g<=

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Braccia di supporto
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 2
		Material AISI304L
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>  Scale 1:2 Drawing N° ST_HCS_05_001
		Mass [kg] 0.23 Firm. A3 Rev. 0

A3

D.42 SUPPORTO LATERALE DX CON PERNI



INFORMAZIONE PER IL CLIENTE

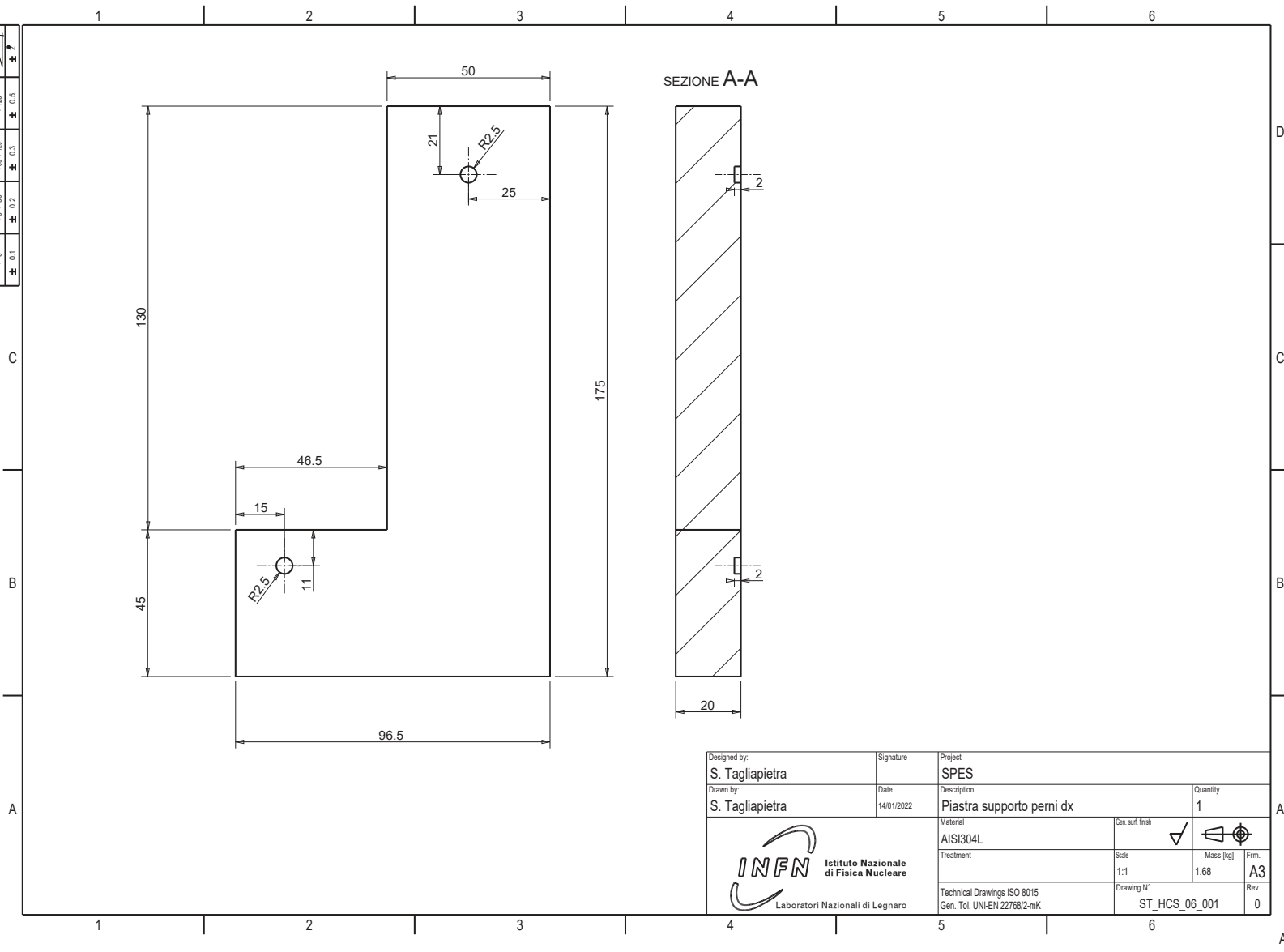
1.0	g=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	g<=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.0	g>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.0	g>=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0	g>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.0	g>=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	ST_HCS_06_001	PART	AISI304L	1.679	1
2	ST_HCS_06_002	PART	AISI304L	0.033	1
3	ST_HCS_06_003	PART	AISI304L	0.078	1

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastra supporto dx comp.
Material		Gen. surf. finish
Treatment		Scale
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Drawing N°
Laboratori Nazionali di Legnaro		Rev.
		Quantity 1
		Mass [kg] 1.79
		Frm. A3
		ST_HCS_06
		0

A3

INFC/178/179/180/181/182/183/184/185/186/187/188/189/190/191/192/193/194/195/196/197/198/199/200/201/202/203/204/205/206/207/208/209/210/211/212/213/214/215/216/217/218/219/220/221/222/223/224/225/226/227/228/229/230/231/232/233/234/235/236/237/238/239/240/241/242/243/244/245/246/247/248/249/250/251/252/253/254/255/256/257/258/259/260/261/262/263/264/265/266/267/268/269/270/271/272/273/274/275/276/277/278/279/280/281/282/283/284/285/286/287/288/289/290/291/292/293/294/295/296/297/298/299/300/301/302/303/304/305/306/307/308/309/310/311/312/313/314/315/316/317/318/319/320/321/322/323/324/325/326/327/328/329/330/331/332/333/334/335/336/337/338/339/340/341/342/343/344/345/346/347/348/349/350/351/352/353/354/355/356/357/358/359/360/361/362/363/364/365/366/367/368/369/370/371/372/373/374/375/376/377/378/379/380/381/382/383/384/385/386/387/388/389/390/391/392/393/394/395/396/397/398/399/400/401/402/403/404/405/406/407/408/409/410/411/412/413/414/415/416/417/418/419/420/421/422/423/424/425/426/427/428/429/430/431/432/433/434/435/436/437/438/439/440/441/442/443/444/445/446/447/448/449/450/451/452/453/454/455/456/457/458/459/460/461/462/463/464/465/466/467/468/469/470/471/472/473/474/475/476/477/478/479/480/481/482/483/484/485/486/487/488/489/490/491/492/493/494/495/496/497/498/499/500	7
> 120	0.5
> 300 <= 120	0.3
> 60 <= 300	0.2
<= 60	0.1



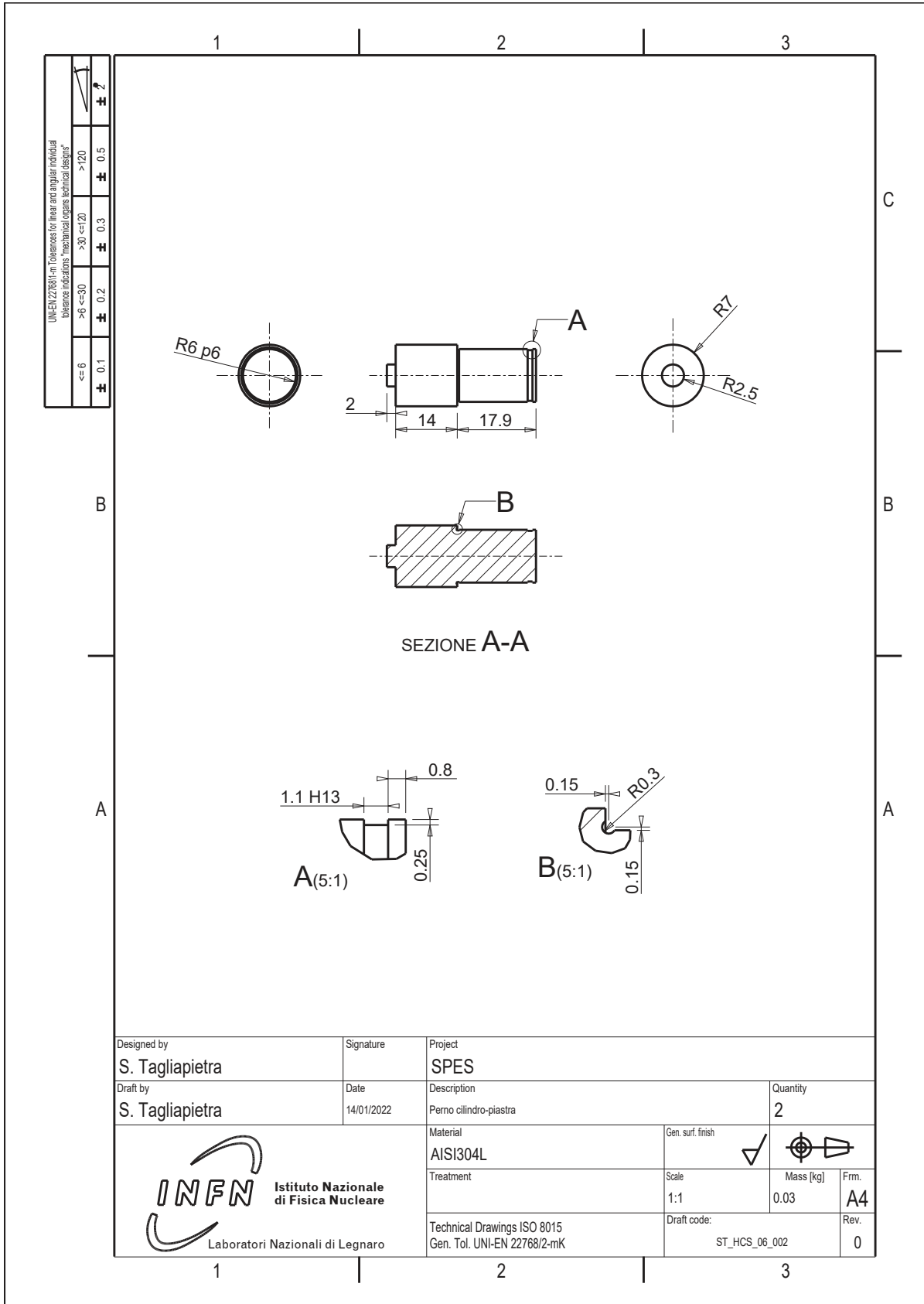
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastra supporto perni dx	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AISI304L	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:1	Mass [kg] 1.68	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_06_001	Rev. 0	

D.43 SUPPORTO LATERALE DX

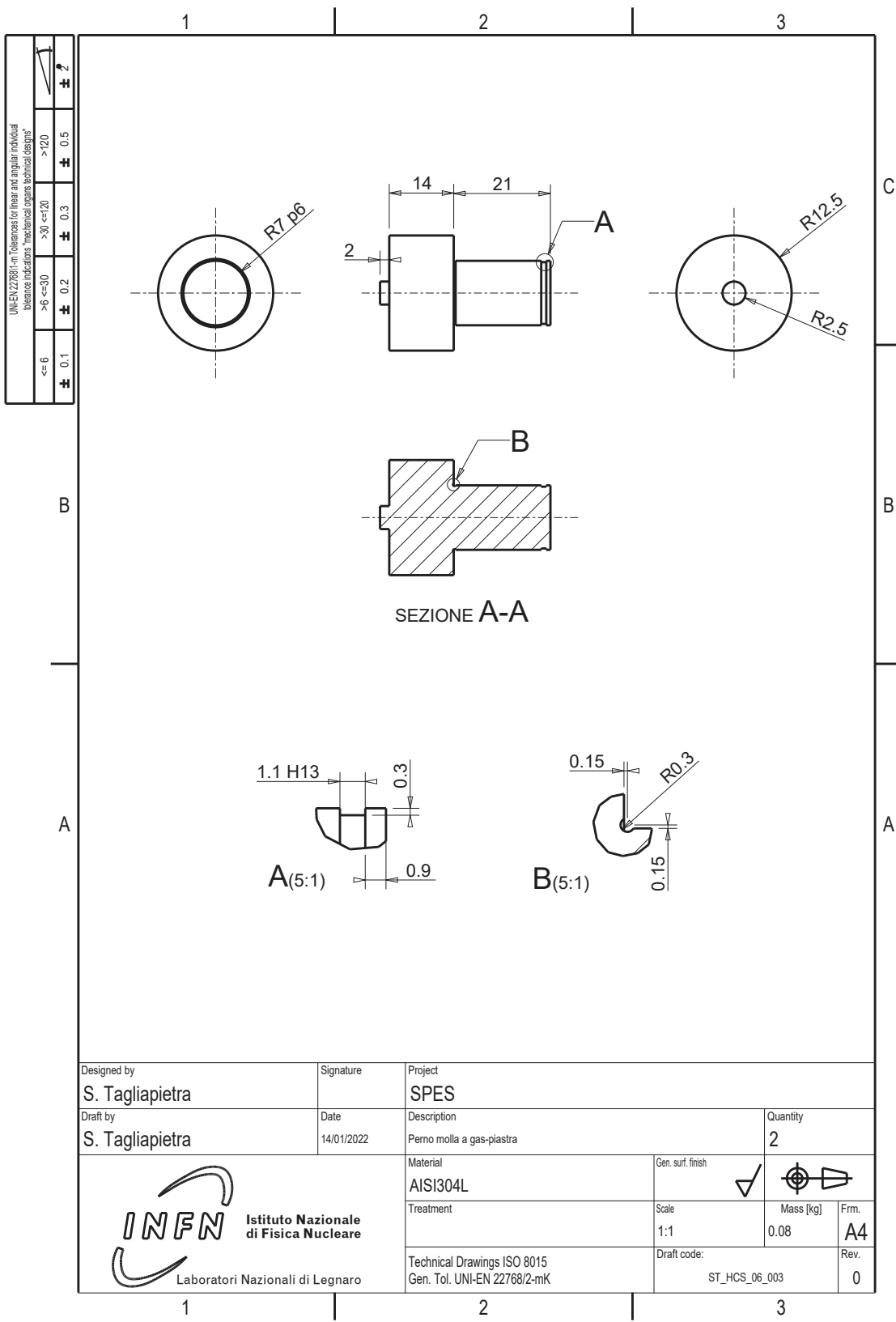
D.43 SUPPORTO LATERALE DX 219



A3

D.44 PERNO CILINDRO-SARCOFAGO

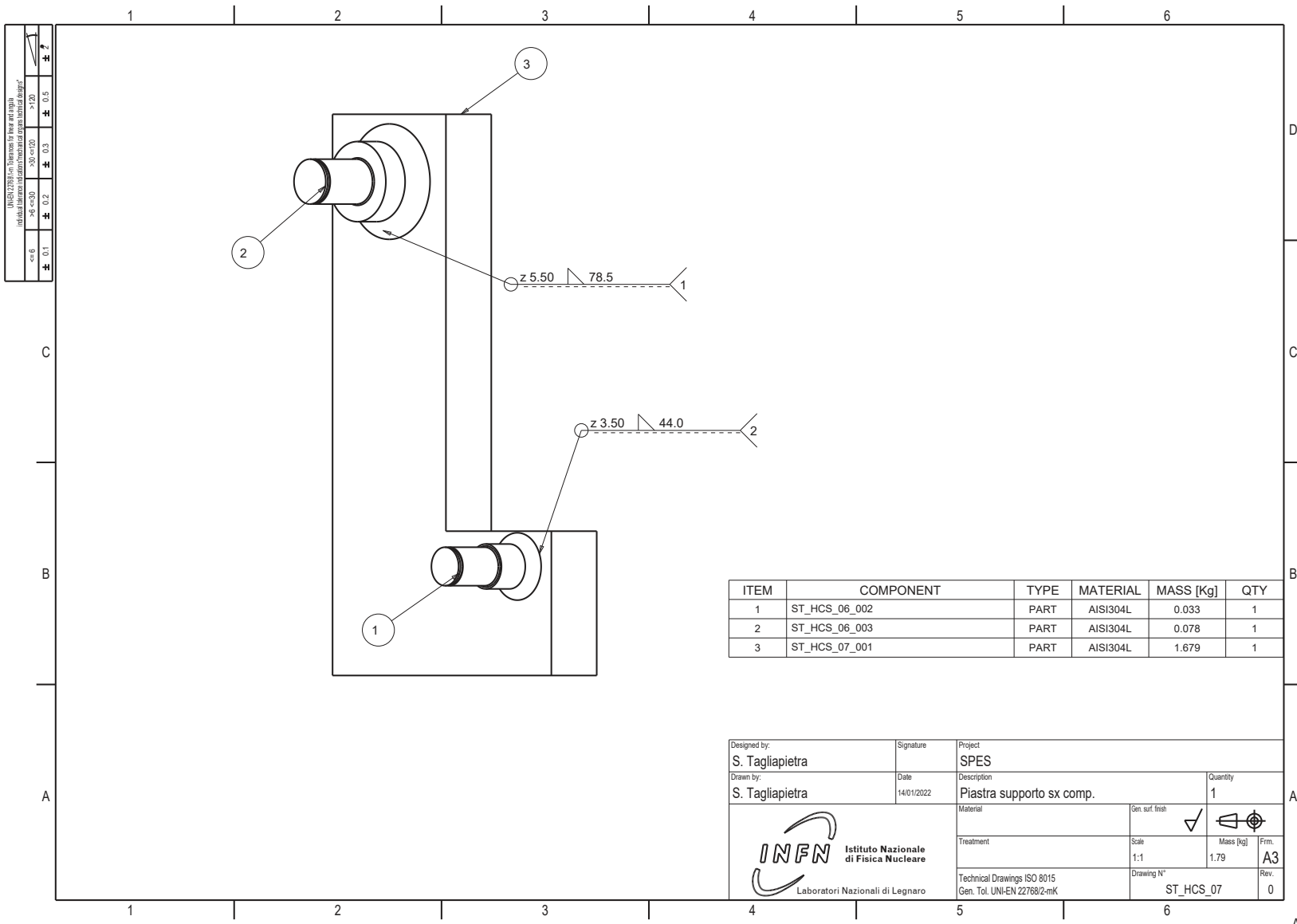


D.45 PERNO MOLLA-SARCOFAGO



Designed by <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>		
Draft by <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description Perno molla a gas-piastra	Quantity <b>2</b>	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>AISI304L</b>	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 	Mass (kg) 0.08	Frm. <b>A4</b>
	Treatment	Scale 1:1	Draft code: ST_HCS_06_003	Rev. <b>0</b>
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK			

D.46 SUPPORTO LATERALE SX CON PERNI



INFORMAZIONE PER IL CLIENTE

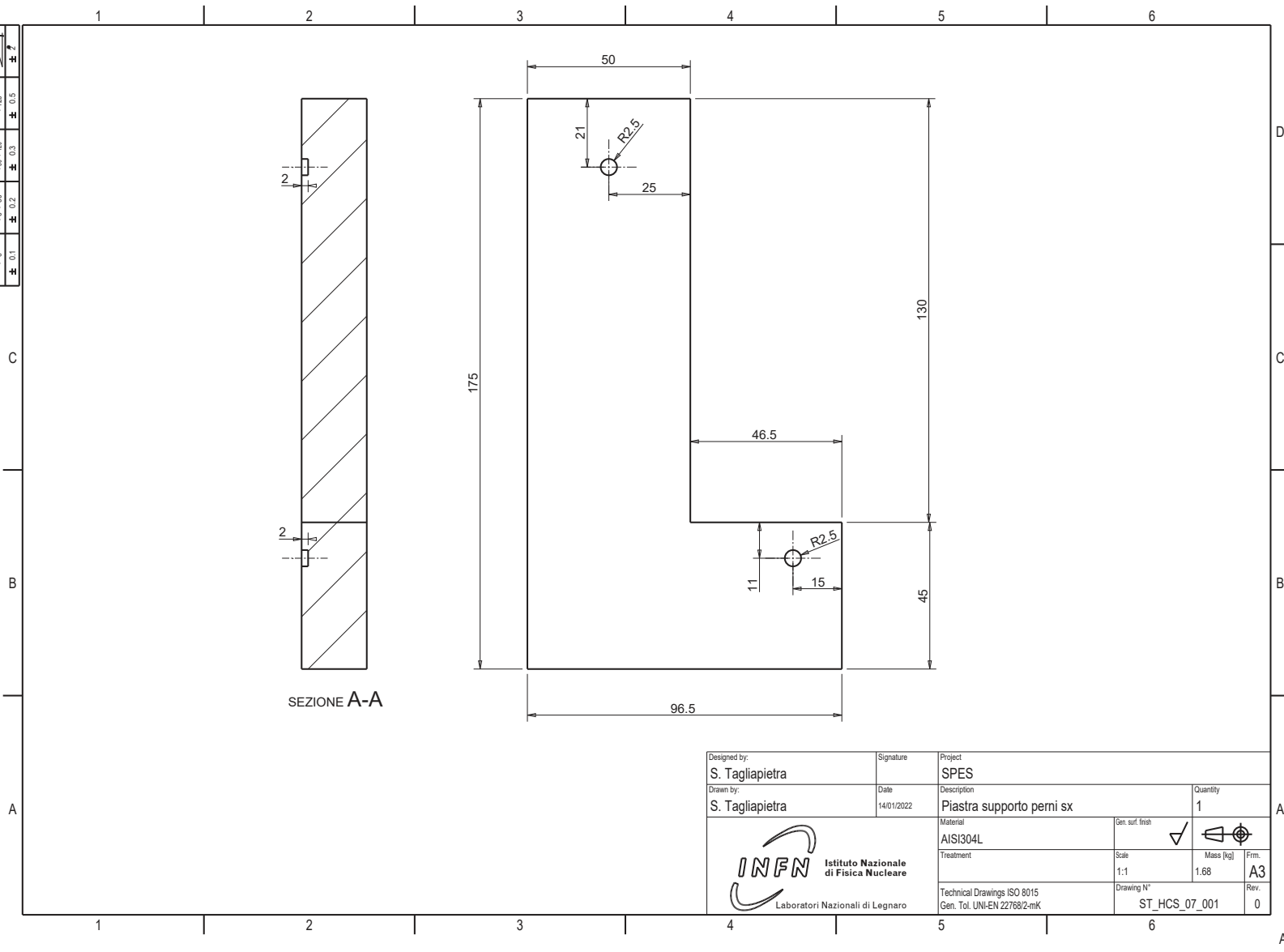
5.0	3.0	2.0	1.0
> 100	100 <= 1000	1000 <= 10000	10000 <= 100000
100	1000	10000	100000
100	1000	10000	100000



ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	ST_HCS_06_002	PART	AISI304L	0.033	1
2	ST_HCS_06_003	PART	AISI304L	0.078	1
3	ST_HCS_07_001	PART	AISI304L	1.679	1

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastra supporto sx comp.
Material		Quantity 1
Treatment		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Scale 1:1
Laboratori Nazionali di Legnaro		Mass [kg] 1.79
		Frm. A3
		Drawing N° ST_HCS_07
		Rev. 0

A3

INFN	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05
> 120	> 300	< 300	< 30	< 6	< 6
INFN (I) is a company for the production of technical drawings for the design of individual components and assemblies.					

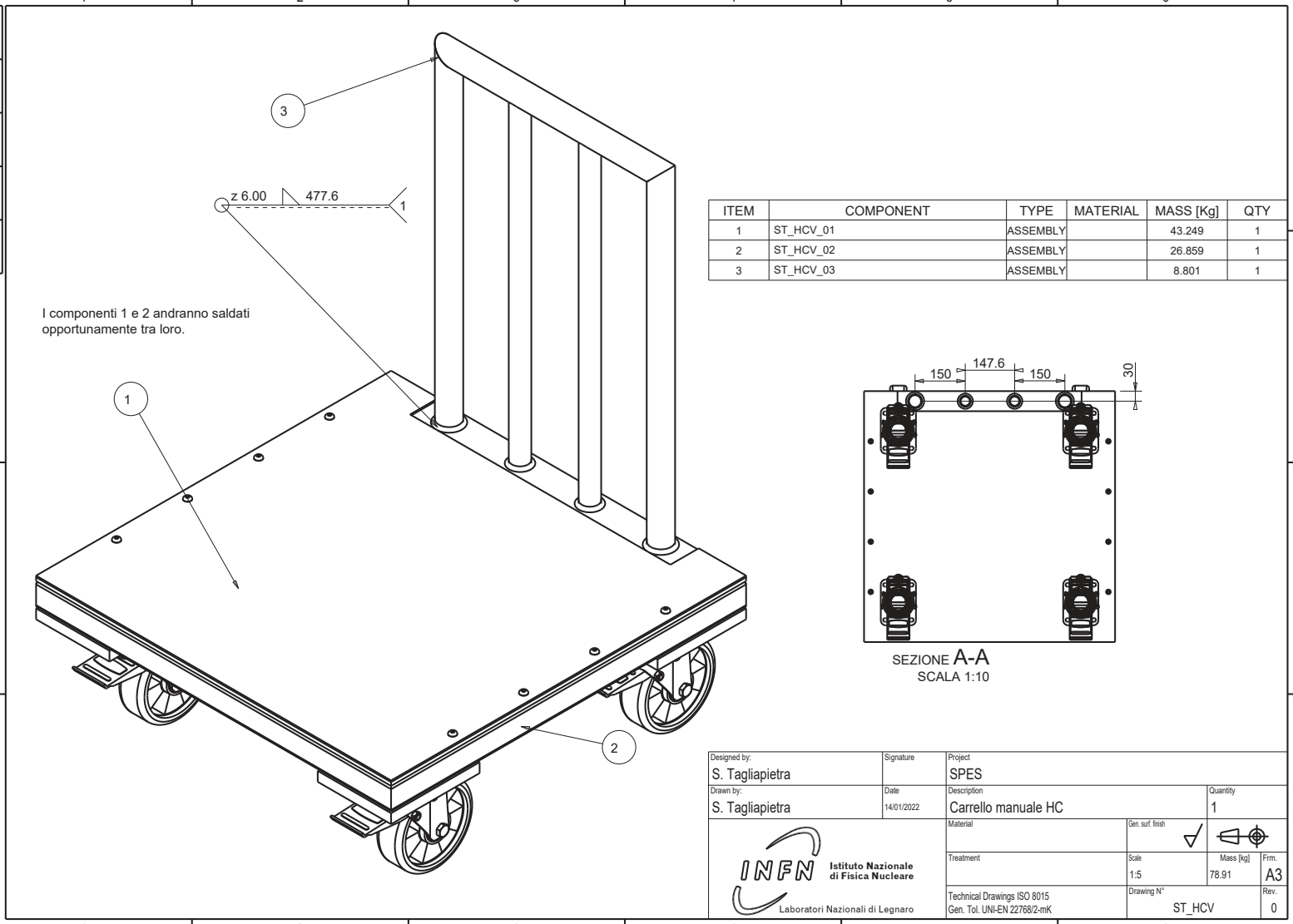


Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastra supporto perni sx	Quantity 1	A
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AISI304L	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
	Treatment	Scale 1:1	Mass [kg] 1.68	Frm. A3
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCS_07_001	Rev. 0	

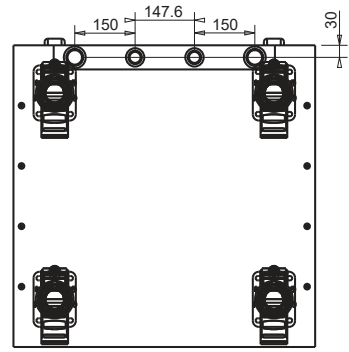
A3

D.48 COMPLESSIVO



INTEGRARE con Dimensione per file e profilo	z > 120	z > 100	z > 80	z > 60	z > 40	z > 20	z > 10
Indirizzo: Laboratorio di Progettazione e Sviluppo	> 120	> 100	> 80	> 60	> 40	> 20	> 10



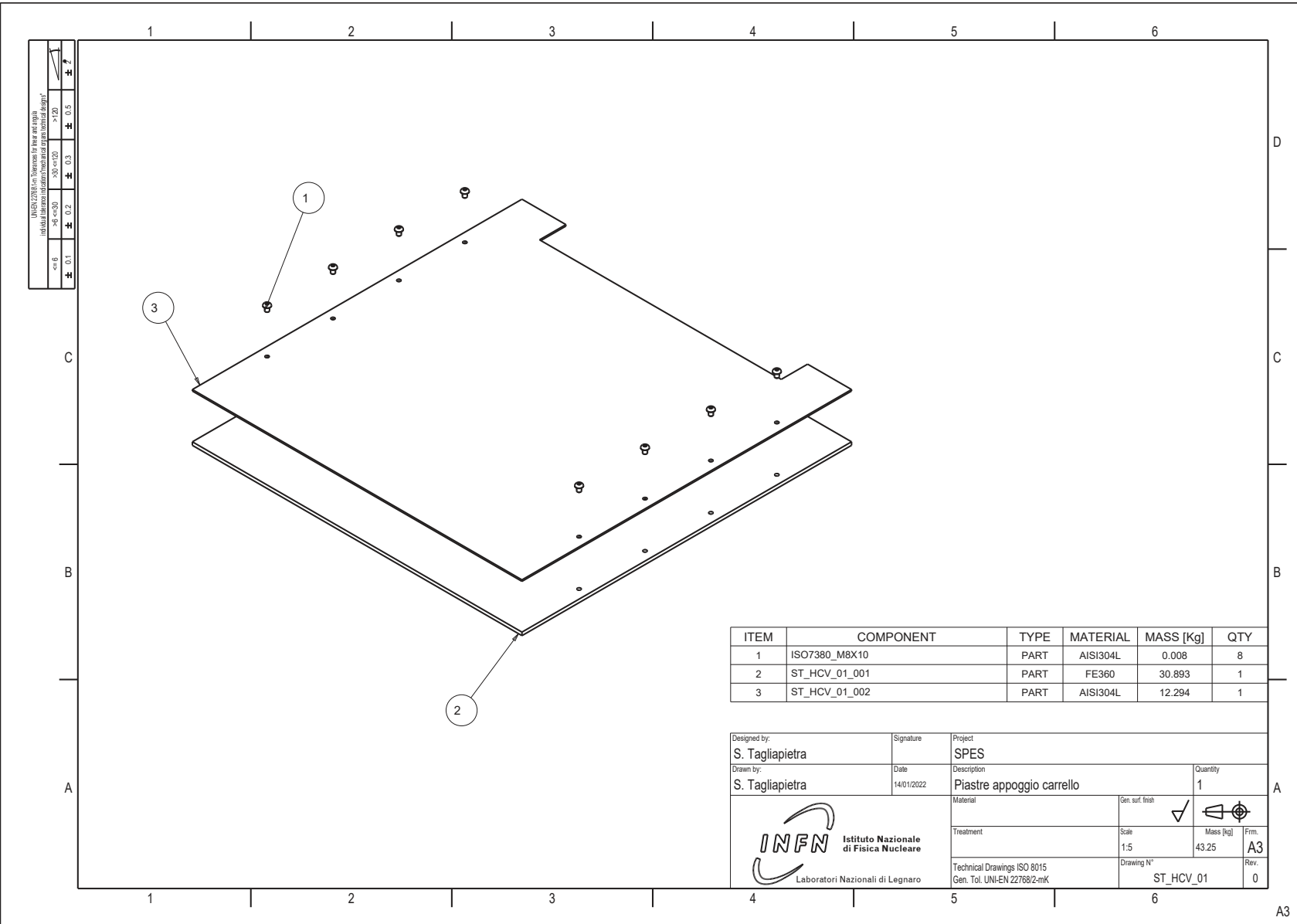
ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	ST_HCV_01	ASSEMBLY		43.249	1
2	ST_HCV_02	ASSEMBLY		26.859	1
3	ST_HCV_03	ASSEMBLY		8.801	1



SEZIONE A-A  
SCALA 1:10

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES		
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Carrello manuale HC	Quantity 1	A
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material	Gen. surf. finish ✓ 	
		Treatment	Scale 1:5	Mass [kg] 78.91
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCV	Firm. A3





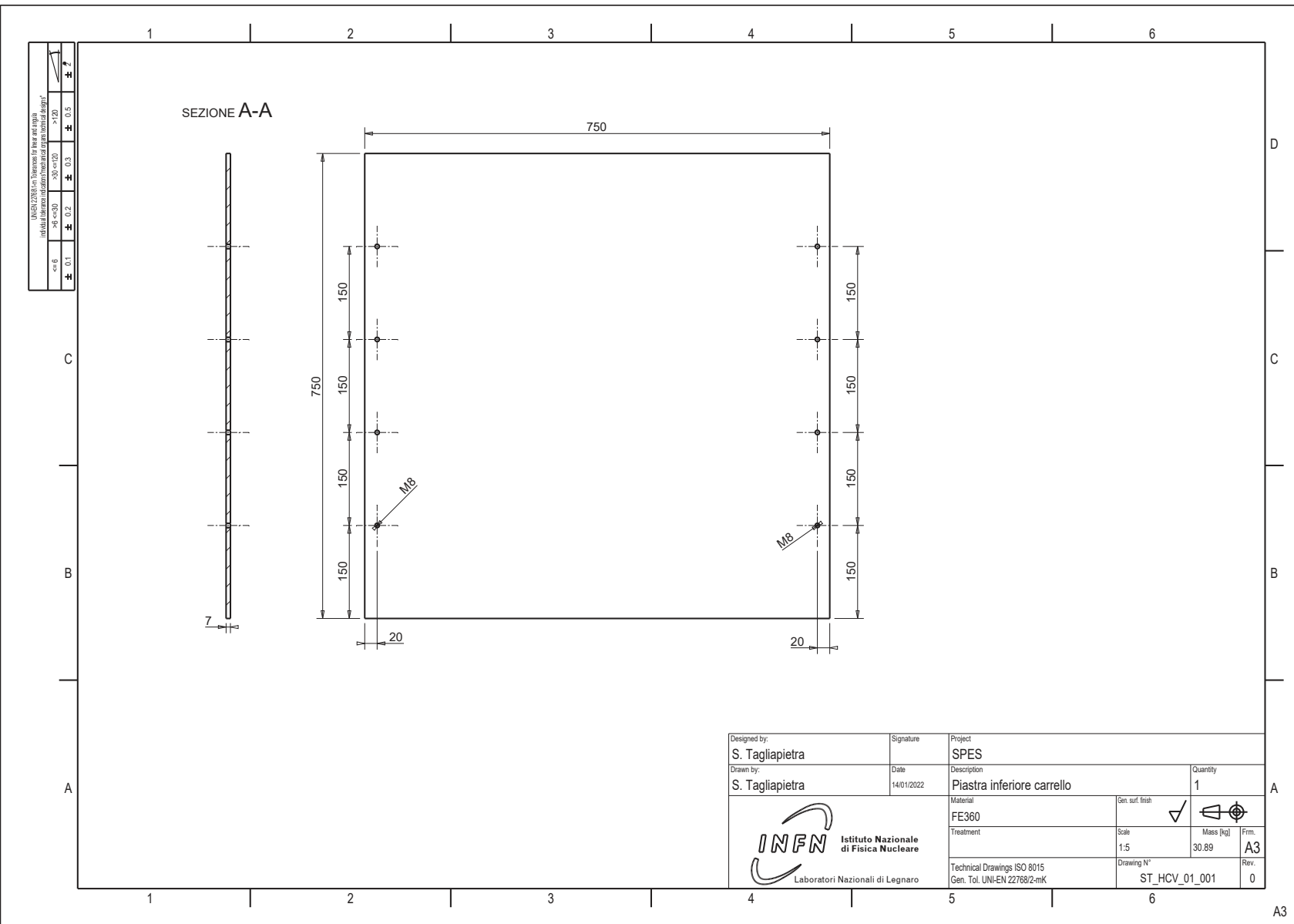
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	ISO7380_M8X10	PART	AISI304L	0.008	8
2	ST_HCV_01_001	PART	FE360	30.893	1
3	ST_HCV_01_002	PART	AISI304L	12.294	1

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastrre appoggio carrello
Material		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Treatment		Scale 1:5
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Mass [kg] 43.25
Laboratori Nazionali di Legnaro		Drawing N° ST_HCV_01
		Frm. A3
		Rev. 0


A3

D.50 PIASTRA INFERIORE

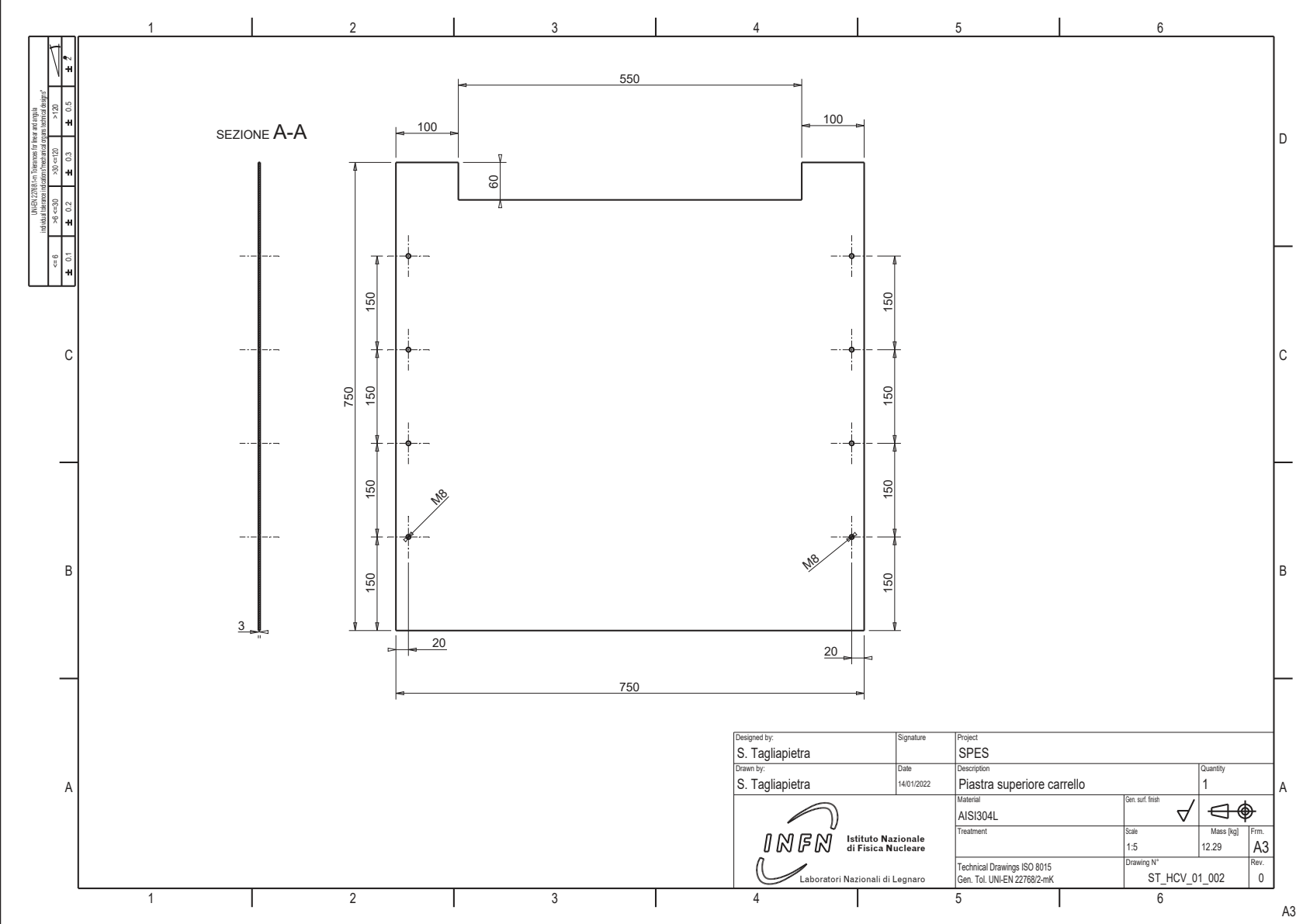


INFORMAZIONI ESIGENZIE PER LA REALIZZAZIONE  
 individual fabrication/individual mechanical design

<= 6	> 6 <= 9	> 9 <= 12	> 12
0.1	0.2	0.3	0.5



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastra inferiore carrello
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 1
		Material FE360
		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
		Scale 1:5
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCV_01_001	Mass [kg] 30.89
		Frm. A3
		Rev. 0

A3



UNI EN 17090 con Supplemento per Plate and Profile  
 individual fabrication in accordance with technical drawing

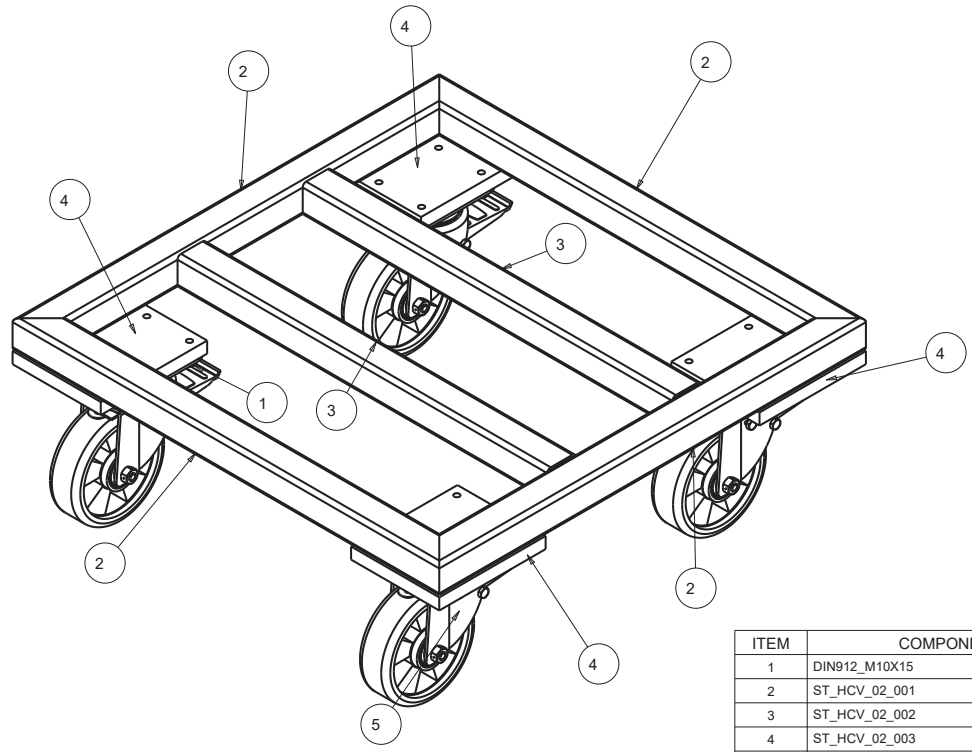
<= 6	> 6 <= 30	> 30 <= 120	> 120
0.1	0.2	0.3	0.5

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Piastra superiore carrello
		Quantity 1
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AISI304L	
	Treatment	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/> 
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Scale 1:5
		Mass [kg] 12.29
		Frm. A3
		Rev. 0
		Drawing N° ST_HCV_01_002

A3

D.52 SCHELETRO DI SUPPORTO

UNI EN ISO 13709	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
Individual fabrication tolerances for parts and profiles	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6
Individual fabrication tolerances for mechanical and geometrical design	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6	<= 6



I componenti 2 e 3 vanno saldati opportunamente tra loro.

I componenti 3 vanno saldati ai 2 sia all'esterno con saldature di testa che all'interno con saldature ad angolo di altezza 4 mm.

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	DIN912_M10X15	PART	STAINL_ST	0.022	16
2	ST_HCV_02_001	PART	FE360	2.972	4
3	ST_HCV_02_002	PART	FE360	2.760	2
4	ST_HCV_02_003	PART	FE360	2.223	4
5	TENTE_DELTA_3642IEP160P63	ASSEMBLY			4

Designed by: <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>
Drawn by: <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description <b>Scheletro carrello</b>
Material		Quantity <b>1</b>
Treatment		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Mass [kg] <b>26.86</b>
Laboratori Nazionali di Legnaro		Firm. <b>A3</b>
		Rev. <b>0</b>
		Drawing N° <b>ST_HCV_02</b>

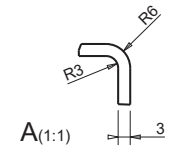
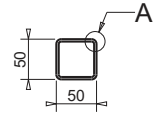
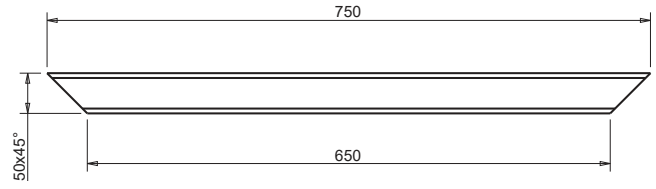
1 2 3 4 5 6



A B C D

1 2 3 4 5 6

A3

UNI EN 17091 con Supplemento per l'uso nei PAI individuati attraverso la procedura tecnica di progettazione		0.5		0.3		0.2		0.1		0.05	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	
≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6		≤ 6	



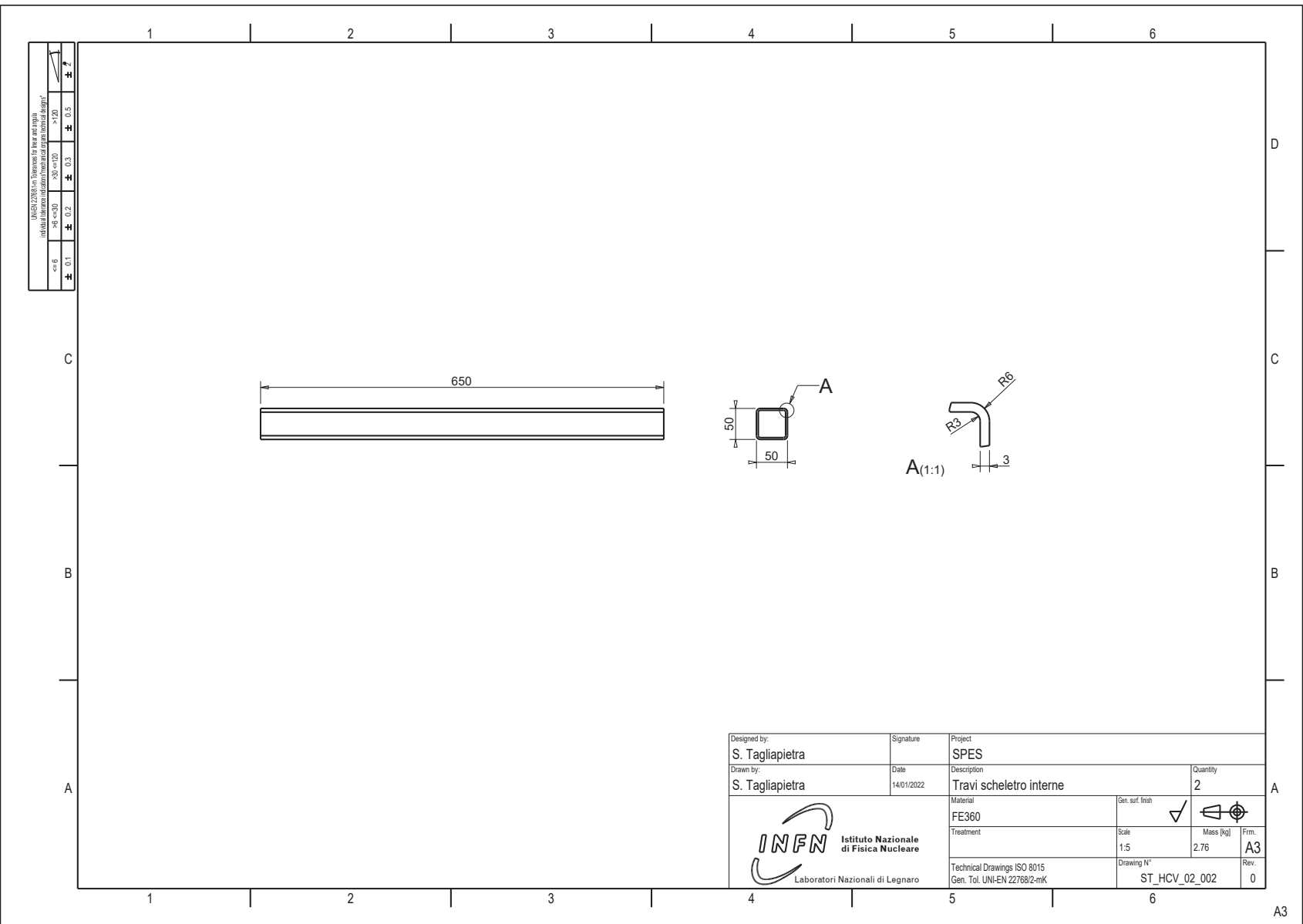
Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Travi scheletro esterne	Quantity 4
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>	
	Treatment	Scale 1:5	Mass [kg] 2.97
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCV_02_001	Frm. A3
		Rev. 0	

D.53 TRAVI ESTERNE

D.53 TRAVI ESTERNE 229


A3

D.54 TRAVI INTERNE



INFORMAZIONE PER IL CLIENTE

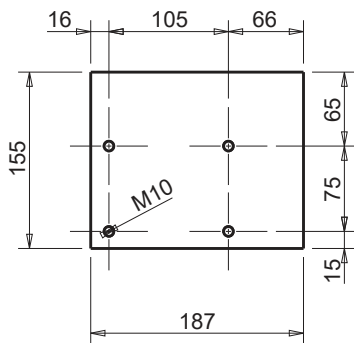
1.0	g=
2.0	g<=
3.0	g<=
4.0	g<=
5.0	g<=
> 5.0	g<=

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES	
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Travi scheletro interne	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 2	
		Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
		Treatment Scale 1:5	Mass [kg] 2.76
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCV_02_002
		Frm. A3	
		Rev. 0	

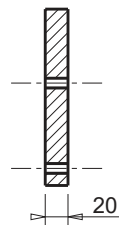
A3



D.55 PIASTRA ATTACCO RUOTE

UNI-EN 22768/2-mTolerances for linear and angular individual tolerances indications, "mechanical congs technical designs"	
<=6	± 0.1
>6 <=30	± 0.2
>30 <=120	± 0.3
>120	± 0.5



SEZIONE A-A

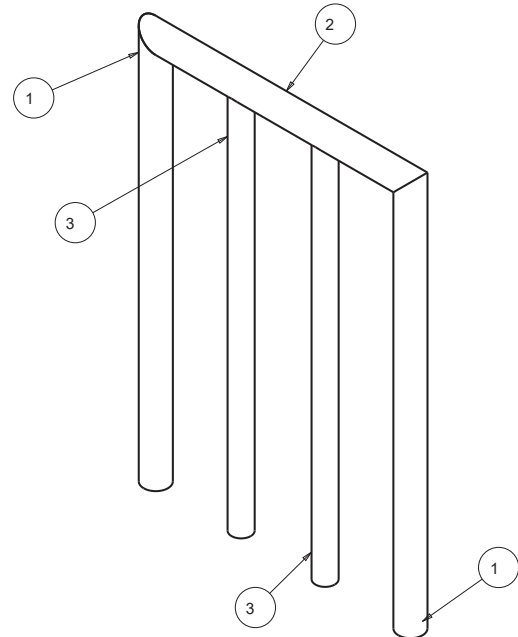


Designed by <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>		
Draft by <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description Attacco ruote carrello	Quantity <b>4</b>	
 <b>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</b> Laboratori Nazionali di Legnaro	Material <b>FE360</b>	Gen. surf. finish ✓ 	Mass [kg] 2.22	Frm. <b>A4</b>
	Treatment	Scale 1:5	Draft code: ST_HCV_02_003	Rev. <b>0</b>
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK			

D.56 MANICO

INTEGRARE con Dimensioni in mm e tolleranze  
individuali (libere) o standard (secondo norme internazionali)

> 120	0.3	0.5	0.7
100 - < 120	0.2	0.3	0.4
50 - < 100	0.15	0.2	0.25
10 - < 50	0.1	0.15	0.2
≤ 10	0.05	0.08	0.1



I componenti andranno saldati opportunamente tra loro.

ITEM	COMPONENT	TYPE	MATERIAL	MASS [Kg]	QTY
1	ST_HCV_03_001	PART	FE360	2.100	2
2	ST_HCV_03_002	PART	FE360	1.333	1
3	ST_HCV_03_003	PART	FE360	1.634	2

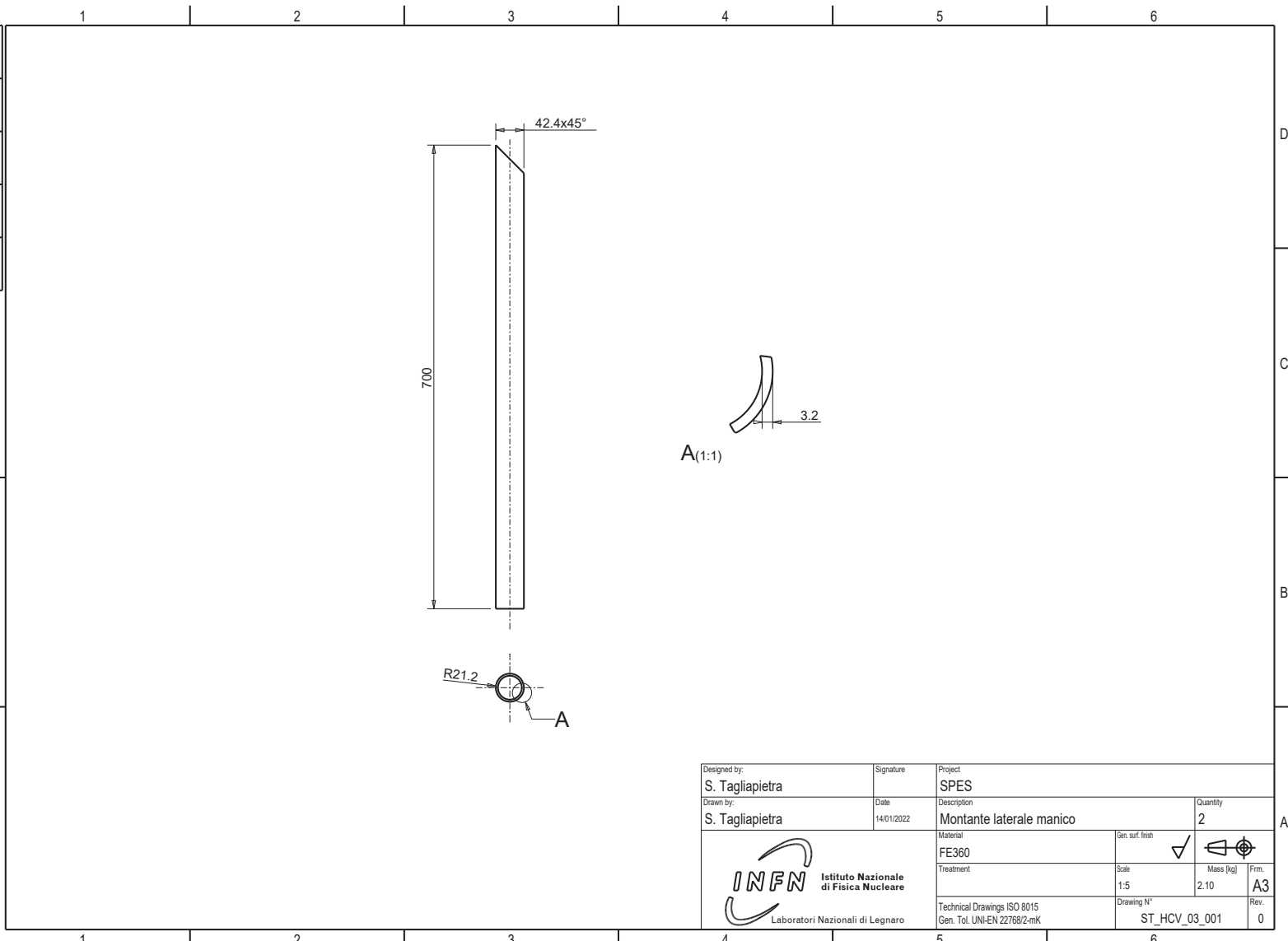
Designed by: <b>S. Tagliapietra</b>	Signature	Project <b>SPES</b>
Drawn by: <b>S. Tagliapietra</b>	Date 14/01/2022	Description <b>Manico carrello</b>
Material		Quantity <b>1</b>
Treatment		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Scale 1:5
Laboratori Nazionali di Legnaro		Mass [kg] 8.80
		Frm. <b>A3</b>
		Drawing N° <b>ST_HCV_03</b>
		Rev. <b>0</b>


Grid with columns 1-6 and rows A-D. The drawing and table are positioned within this grid.

A3



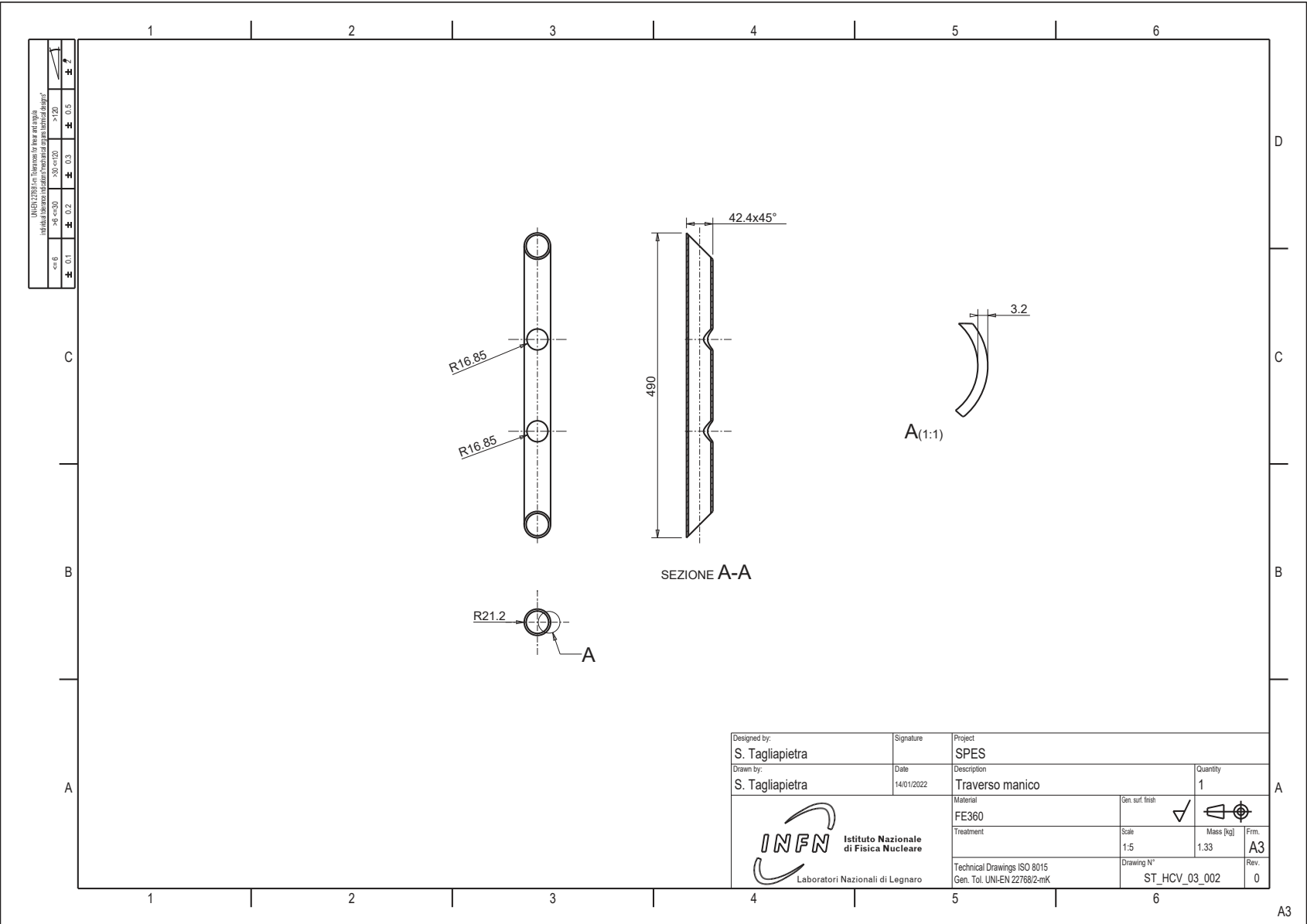
UNISO 17894 con avvertenze per l'uso e per gli individui all'interno di strutture meccaniche progettate digitalmente	
≤ 6	0.1
> 6 e ≤ 30	0.2
> 30 e ≤ 100	0.3
> 100	0.5



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Montante laterale manico
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 2
		Material FE360
		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>
Treatment	Scale 1:5	Mass [kg] 2.10
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCV_03_001	Frm. A3
		Rev. 0



A3

D.58 TRAVERSO



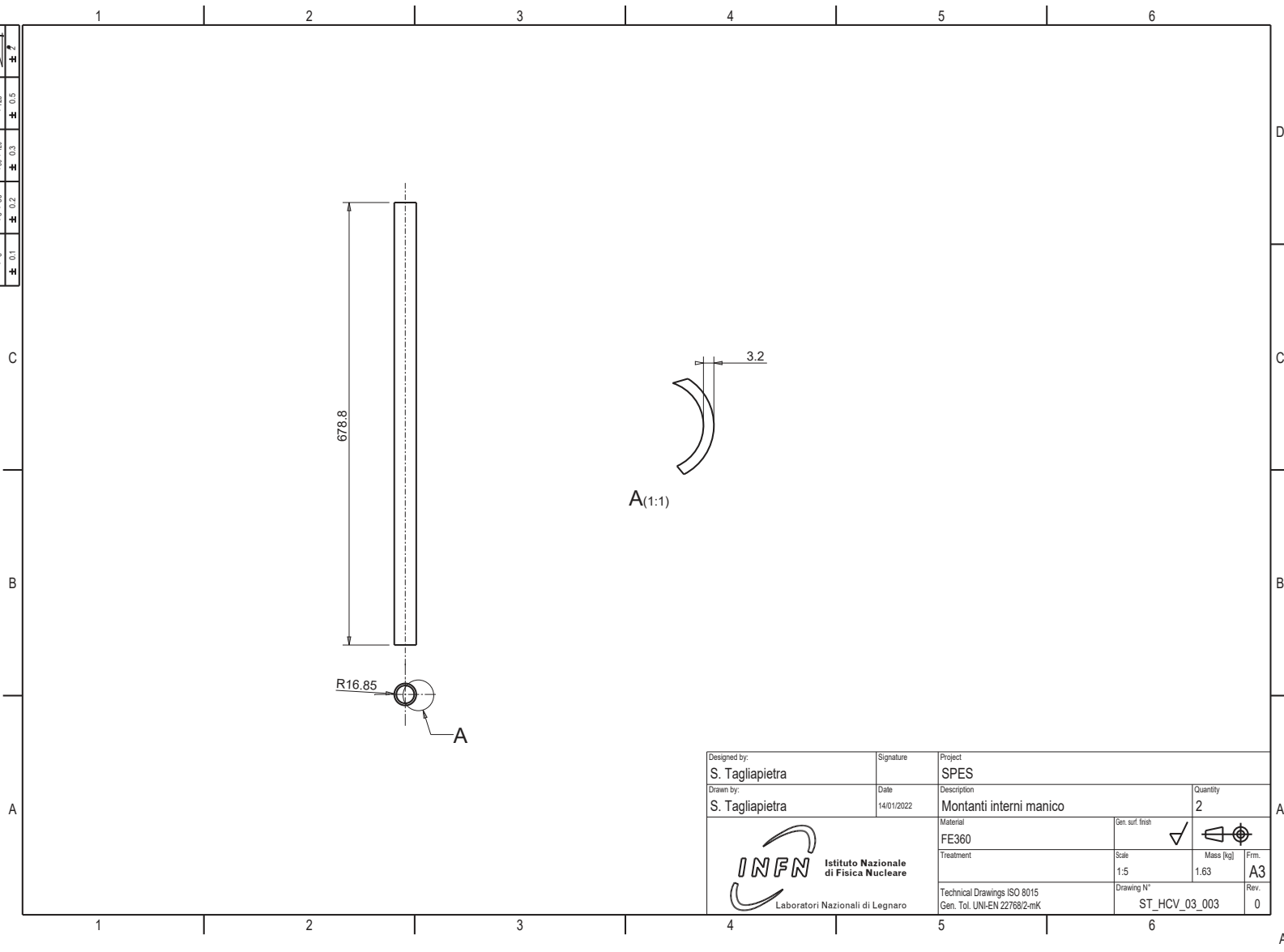
INFORMAZIONI ESSENZIALI PER LA PRODUZIONE  
 INFORMAZIONI ESSENZIALI PER LA PRODUZIONE



1.0	≤ 6	+
2.0	6 < x < 30	+
3.0	30 < x < 100	+
0.5	> 100	+

Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Traverso manico
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Quantity 1
		Material FE360
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK		Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>  Scale 1:5 Drawing N° ST_HCV_03_002
		Mass [kg] 1.33 Firm. A3 Rev. 0

A3

INFC/1788/19 - Questioni per il personale tecnico individuali (fabbrica in acciaio/meccanica) o per il disegno?			
<= 6	>6 <=30	>30 <=100	> 100
+	+	+	+
0.1	0.2	0.3	0.5
+	+	+	+



Designed by: S. Tagliapietra	Signature	Project SPES			
Drawn by: S. Tagliapietra	Date 14/01/2022	Description Montanti interni manico	Quantity 2	A	
 <b>INFN</b> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material FE360	Gen. surf. finish <input checked="" type="checkbox"/>		
		Treatment	Scale 1:5	Mass [kg] 1.63	Frm. A3
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 22768/2-mK	Drawing N° ST_HCV_03_003	Rev. 0	

D.59 MONTANTE INTERNO

D.59 MONTANTE INTERNO 235

A3



## BIBLIOGRAFIA

---

- [1] Rockwell Automation. *PLC vs. Safety PLC - Fundamental and Significant Differences*. URL: [http://infoplac.net/files/documentacion/seguridad\\_normativa/infoplac\\_net\\_plc\\_vs\\_safetyplc\\_fundamental\\_significant\\_differences.pdf](http://infoplac.net/files/documentacion/seguridad_normativa/infoplac_net_plc_vs_safetyplc_fundamental_significant_differences.pdf).
- [2] M. Ballan, M. Manzolaro, G. Meneghetti, A. Andrighetto, A. Monetti e G. Bisoffi and G. Prete. «A combined experimental and numerical approach for the control and monitoring of the SPES target during operation at high temperature». In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 376 (2016). DOI: [10.1016/j.nimb.2016.01.038](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2016.01.038).
- [3] G. Bisoffi et al. «Progress in the design and construction of SPES at INFN-LNL». In: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* (2016). DOI: [10.1016/j.nimb.2016.01.024](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2016.01.024).
- [4] R.G. Budynas e J.K. Nisbett. *Shingley, Progetto e Costruzione di Macchine*. 4<sup>a</sup> ed. Mc Graw Hill, 2020.
- [5] M. Deicher, G.S. Collins, R. Gerten, K. Johnston and J. Kronenberg, M. Türker, F. Wagner, Th. Wichert, H. Wolf e M.O. Zaccate. «Radiotracer diffusion in semiconductors and metallic compounds using short-lived isotopes». In: *EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH* (2009). URL: <https://cds.cern.ch/record/1156122/files/INTC-P-261.pdf>.
- [6] Schneider Electric, cur. *Lexium 32M Servo Drive - User Guide*. URL: [https://download.schneider-electric.com/files%20p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=0198441113767\\_LXM32M\\_EN.pdf&p\\_Doc\\_Ref=0198441113767-EN](https://download.schneider-electric.com/files%20p_enDocType=User+guide&p_File_Name=0198441113767_LXM32M_EN.pdf&p_Doc_Ref=0198441113767-EN).
- [7] B. R. Fulton. «Present and Future RIB Facilities». In: *Journal of Physics: Conference Series* 312.5 (2011). URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/312/5/052001>.
- [8] M. Gobbi. «Concept design del sistema di carico/scarico per dispositivi di movimentazione del progetto SPES». Tesi di laurea mag. Università degli Studi di Padova, 2021.
- [9] *Introduzione ai PLC*. 2020. URL: <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34275903>.
- [10] *Introduzione ai PLC*. URL: [http://www.diit.unict.it/users/scava/dispense/II\\_270/PLC.pdf](http://www.diit.unict.it/users/scava/dispense/II_270/PLC.pdf).
- [11] M. Manzolaro, S. Corradetti, M. Ballan, R. Solomoni, A. Andrighetto e G. Meneghetti. «Thermal and Mechanical Characterization of Carbides for High Temperature Nuclear Applications». In: *Materials* 14 (2021). DOI: [10.3390/ma14102689](https://doi.org/10.3390/ma14102689).

- [12] G. Petrucci. *Collegamenti saldati*. 2020. URL: <https://www1.unipa.it/giovanni.petrucci/Disp/Saldature.pdf>.
- [13] W.D. Pilkey e D.F. Pilkey. *Peterson's Stress Concentration Factors*. 3<sup>a</sup> ed. A cura di John Wiley e Sons, 2008.
- [14] M. Quaresimin e M. Zappalorto. *Costruzione di Macchine*. 2015.
- [15] M. Quaresimin e M. Zappalorto. *Verifica statica di unioni bullonate in acciaio strutturale*. Università degli Studi di Padova. 2020.
- [16] *RIB sources*. 2012. URL: [https://web.infn.it/spes/files/TDR\\_2012/SPES-TDR2012\\_Chap6\\_RIBSources.pdf](https://web.infn.it/spes/files/TDR_2012/SPES-TDR2012_Chap6_RIBSources.pdf).
- [17] *Safety over EtherCAT*. URL: <https://www.ethercat.org/it/safety.html#:~:text=EtherCAT%5C%20utilizza%5C%20a%5C%20questo%5C%20scopo,architettura%5C%20del%5C%20sistema%5C%20di%5C%20sicurezza>.
- [18] *Selettore di velocità*. URL: <https://www.chimica-online.it/fisica/selettore-di-velocita.htm>.
- [19] *SPES - Selective Production of Exotic Species*. 2012. URL: <https://home.infn.it/it/progetti/progetti-foe-2/spes1>.
- [20] *Spettrometro di massa*. URL: <https://www.chimica-online.it/fisica/spettrometro-di-massa.htm>.