



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Scambiatore di calore impianto NACIE

M. Tarantino

Report RdS/2012/201

SCAMBIATORE DI CALORE IMPIANTO NACIE

M. Tarantino - ENEA

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

Titolo

Scambiatore di calore impianto NACIE

Descrittori

Tipologia del documento: Specifica Tecnica Componente

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca “Nuovo nucleare da fissione”

Argomenti trattati: Tecnologia dei metalli liquidi
Termoidraulica dei reattori nucleari
Trasmissione del calore

Sommario

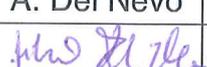
Il presente documento riporta la Specifica Tecnica di fornitura e collaudo dello scambiatore di calore dell'impianto NACIE.

Note

Autori: I. Di Piazza, P. Gaggini, M. Tarantino

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	25/09/2012	NOME	M. Tarantino	A. Del Nevo	M. Tarantino
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	2	16

INDICE

INTRODUZIONE	3
1. CONCETTUALIZZAZIONE SCAMBIATORE DI CALORE.....	8
2. OGGETTO DELLA FORNITURA	9
3. SCOPO	9
4. DESCRIZIONE DELLA FORNITURA E DATI DI PROGETTO	9
5. REQUISITI DELLA FORNITURA	11
5.1 FABBRICAZIONE	11
5.2 MATERIALI	12
5.3 SALDATURE	12
5.4 PROVE IN PRESSIONE	12
5.5 PULIZIA.....	13
6. ESTENSIONE DELLA FORNITURA.....	13
6.1 CONTROLLI DIMENSIONALI E PROVE IN OFFICINA.....	14
6.2 IMBALLO E TRASPORTO	14
6.3 PARTI DI RICAMBIO	14
6.4 ACCETTAZIONE E GARANZIA	14
7. LIMITI DI FORNITURA, ESCLUSIONI, INTERFACCE.....	14
8. DURATA DELLA FORNITURA, PENALI, PAGAMENTI.....	14
9. ALLEGATI.....	16
9.1 DISEGNI	16

INTRODUZIONE

I reattori di quarta generazione, sono oggetto di un'iniziativa avviata dal Dipartimento dell'Energia (DOE) USA nel gennaio 2000, allorché dieci paesi si sono uniti per formare il Generation IV International Forum (GIF) col fine di sviluppare i sistemi nucleari di futura generazione, cioè i sistemi che potranno divenire operativi a partire dal 2030, subentrando all'attuale generazione di reattori a neutroni termici refrigerati ad acqua.

I sistemi nucleari di quarta generazione sono stati concepiti per rispettare i seguenti requisiti:

- ❖ Sostenibilità, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- ❖ Economicità, ovvero basso costo del ciclo di vita dell'impianto e livello di rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- ❖ Sicurezza e affidabilità; in particolare i sistemi di quarta generazione dovranno avere una bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e tollerare anche gravi errori umani; non dovranno, inoltre, richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, non essendoci uno scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito;
- ❖ Resistenza alla proliferazione e protezione fisica tali da rendere non conveniente il furto o la produzione non dichiarata di materiale nucleare o l'uso illecito della tecnologia e da assicurare un'augmentata protezione contro attacchi terroristici.

I paesi costituenti il GIF sono: Argentina, Brasile, Canada, Cina, Federazione Russa, Francia, Giappone, Gran Bretagna, Repubblica di Corea (Sud), Repubblica del Sud Africa, Svizzera, e Stati Uniti; anche l'Euratom, per l'Unione Europea, aderisce al Forum.

L'Italia – grazie all'impegno su buona parte dei progetti europei del VI e VII Programma Quadro indirizzati allo sviluppo dei reattori di IV generazione ed alla partecipazione per conto Euratom di singoli ricercatori ad alcune strutture organizzative di GIF - di fatto partecipa a Generation IV tramite l'Euratom.

Oltre 100 esperti dei 10 paesi aderenti a GIF hanno lavorato per due anni all'esame di un centinaio di alternative tecnologiche, e –con l'emissione nel dicembre 2002 di una *Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*- sono pervenuti alla selezione dei sei concetti più promettenti per la IV generazione di reattori nucleari, intorno a cui organizzare il successivo programma di ricerca e sviluppo. I sei sistemi nucleari selezionati da GIF sono:

- ❖ Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) – reattori a spettro veloce, refrigerati a elio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- ❖ Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a piombo o eutettico piombo-bismuto e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- ❖ Molten Salt Reactor (MSR) – reattori a fissione prodotta in una miscela circolante di sali fusi, con spettro epitermico e possibilità di gestione degli attinidi;

- ❖ Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a sodio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- ❖ Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR) – reattore refrigerato ad acqua a temperatura e pressione oltre il punto critico, a spettro termico o veloce;
- ❖ Very-High-Temperature Reactor (VHTR) – reattore moderato a grafite e refrigerato ad elio, con ciclo del combustibile ad un solo passaggio (once-through). Questo reattore è ottimizzato per la produzione termochimica di idrogeno, oltre che di elettricità.

In ambito Generation IV l'impegno italiano è limitato ai sistemi LFR (Lead cooled Fast Reactor –LFR), nella configurazione a piscina integrata, poiché potenzialmente soddisfano tutti i requisiti introdotti per i sistemi nucleari di quarta generazione.

Sostenibilità: efficace utilizzo del combustibile e minimizzazione delle scorie.

Il piombo è un refrigerante che presenta una sezione di assorbimento neutronica molto bassa (inferiore a quella del sodio) e uno scarso potere moderante. Questa proprietà nucleare, intrinseca al refrigerante, permette di progettare ed esercire noccioli a spettro neutronico veloce anche con geometrie con un elevato rapporto refrigerante/combustibile, e quindi fuel bundles con un elevato rapporto passo su diametro. Questa caratteristica fornisce buoni margini di refrigerazione del nocciolo anche in circolazione naturale in eventi incidentali.

Inoltre la possibilità di operare con flussi neutronici “duri” consente di ottenere noccioli con rapporti di conversione unitario (il tasso di produzione di nuovo materiale fissile nel combustibile coincide con il tasso di consumo dello stesso), e quindi noccioli a lunga vita ed elevato tasso di bruciamento (elevata efficienza di utilizzo del combustibile, circa 150-200 volte superiore agli attuali sistemi di seconda e terza generazione).

Un flusso neutronico veloce permette non solo di accrescere la sostenibilità di tali sistemi mediante un utilizzo più efficace e razionale del combustibile nucleare, ma permette contemporaneamente una drastica riduzione della generazione di scorie ad elevata radiotossicità grazie ad un ciclo del combustibile “chiuso”. Le scorie prodotte sono infatti prive di plutonio e attinidi minori, che vengono completamente riciclati e riutilizzati nel ciclo del combustibile (detto per l'appunto chiuso). Il Plutonio e gli attinidi minori sono infatti i principali responsabili dell'elevata radiotossicità delle scorie nucleari dei sistemi GEN-II, GEN-III, che richiedono tempi di stoccaggio in siti geologici dell'ordine del milione di anni.

Con un ciclo del combustibile chiuso i sistemi LFR permettono di ridurre i volumi di scorie nucleari prodotte e la relativa radiotossicità, con la sola necessità di uno stoccaggio in siti superficiali per un tempo dell'ordine di 300-400 anni.

Economicità: costi competitivi e rischio sul capitale investito paragonabile ad ogni altra forma di produzione di energia elettrica.

I sistemi LFR sono ideati e progettati per essere estremamente semplici, riducendo quindi i tempi di costruzione, i tempi di ammortamento del capitale investito (parametro molto critico per i sistemi nucleari), e il costo di produzione dell'energia elettrica.

Tale semplicità è in gran parte consentita dalle intrinseche proprietà del refrigerante utilizzato. Il piombo infatti non interagisce chimicamente con aria e acqua (a

differenza del sodio), e ha una bassa tensione di vapore. Ciò consente di realizzare sistemi a bassa pressione (praticamente pressione atmosferica) e consente di installare direttamente nel sistema primario il Generatore di Vapore, portando ad una enorme semplificazione impiantistica (nei sistemi refrigerati a sodio ciò non è praticabile, e un apposito circuito intermedio a sodio è previsto, aumentando la complessità, dimensioni e costi di impianto).

Inoltre la diretta installazione del Generatore di Vapore nel sistema primario migliora l'efficienza energetica del sistema LFR, riducendo i costi di produzione dell'energia elettrica.

Infine mediante un accorto ed innovativo progetto di impianto, che lo rende estremamente semplice, è possibile sostituire o comunque ispezionare tutti i componenti del sistema primario, incrementando sensibilmente il fattore di utilizzo dell'impianto e riducendo quindi i tempi di ammortamento sul capitale investito.

Sicurezza e Affidabilità: elevata sicurezza e affidabilità durante l'esercizio, minimo rischio di danneggiamento del nocciolo, esclusione di un piano di evacuazione

I sistemi refrigerati a piombo, visto l'elevato punto di ebollizione del refrigerante utilizzato (1750 °C), la sua bassa tensione di vapore anche ad elevate temperature, e le sue ottime capacità schermanti, sono progettati per essere eserciti a pressione atmosferica e a temperatura relativamente bassa. Ciò consente di ottenere elevati standard di sicurezza e affidabilità durante l'esercizio, con un rischio di esposizione agli operatori molto modesto vista la capacità del piombo di intrappolare i prodotti di fissione anche volatili e di schermare le radiazioni gamma.

Il piombo presenta inoltre ottime proprietà anche da un punto di vista termo-fisico (elevata capacità di asportare potenza termica, elevato calore specifico, elevato coefficiente di espansione termica) che associate alle ottime proprietà neutroniche permette di progettare noccioli ad elevato rapporto passo su diametro, il che implica direttamente sistemi a ridotte perdite di carico e quindi contenute potenze di pompaggio. Inoltre tale configurazione permette di incrementare le capacità del sistema di asportare la potenza di decadimento in regime di circolazione naturale, quindi in maniera completamente passiva, permettendo quindi una sensibile semplificazione dei sistemi di controllo e protezione e accrescendo ulteriormente il grado di sicurezza di tali sistemi.

Da un punto di vista prettamente nucleare i reattori refrigerati a piombo presentato un coefficiente di reattività per presenza di vuoto negativo nel caso di noccioli di piccole-medie dimensioni e leggermente positivi nel caso di noccioli di grosse dimensioni. Tuttavia visto l'elevato punto di ebollizione, e le soluzioni ingegneristiche proposte, non esiste alcun scenario ragionevolmente ipotizzabile che possa portare alla formazione di vuoto all'interno del nocciolo di un LFR.

Inoltre in caso di rottura dei tubi del Generatore di Vapore, vista l'elevata densità del piombo e le soluzioni progettuali adottate, il rischio di inserzione di vapore nel centro del nocciolo (dove il coefficiente di vuoto è maggiormente positivo) è estremamente ridotto.

Va infine evidenziato come l'elevata densità del piombo, nel caso di una improbabile fusione del nocciolo, riduce significativamente il rischio di una successiva compattazione del combustibile e quindi di una nuova condizione di criticità del sistema. I fenomeni di dispersione del combustibile nel refrigerante sono infatti predominanti viste le densità del combustibile nucleare paragonabili a quelle del

piombo e l'attitudine del piombo ad instaurare moti di circolazione naturale in ogni condizione incidentale ipotizzabile. Tale scenario non è invece trascurabile per i reattori ad acqua e a sodio, per i quali addirittura il rischio di parziale o completa fusione del nocciolo è meno ridotto che non nel caso di un LFR.

D'altro canto l'elevato punto di fusione del piombo (327°C) che può indurre problemi di esercizio e controllo dei sistemi LFR, introduce un enorme vantaggio per quanto riguarda la sicurezza di tali sistemi. In caso di rottura del vessel con fuoriuscita di piombo dal sistema primario, questo tenderebbe immediatamente a solidificare arrestando la fuoriuscita, senza alcuna conseguenza per le strutture circostanti data anche la sua inerzia chimica con aria e acqua. Per i sistemi a sodio ciò non è neanche lontanamente immaginabile.

Rimane infine la questione della produzione del Po-210, volatile e altamente pericoloso per la salute pubblica. Con una adeguata selezione dei materiali e una corretta implementazione dei sistemi di controllo della chimica, e ancora date le attitudini del piombo ad intrappolare i prodotti di fissione altamente volatili, il rischio di rilascio di Po-210 è estremamente ridotto.

Resistenza alla Proliferazione e Protezione Fisica: impossibilità di avere plutonio per la fabbricazione di bombe, elevata sicurezza per la salute pubblica in caso di atti terroristici.

L'uso di combustibile ad ossidi misti contenente attinidi minori (nel lungo termine) rende questi sistemi enormemente inefficaci per la produzione di plutonio weapon-grade. Inoltre nel breve termine, le proprietà neutroniche del piombo premettono la concezione di noccioli a lunga vita che li rendono inutilizzabili per la produzione di plutonio.

L'uso di un refrigerante chimicamente compatibile con aria e acqua operante a bassa pressione permette di aumentare sensibilmente la protezione fisica della popolazione residente nelle zone limitrofe all'installazione nucleare, riducendo inoltre la necessità di robusti e complessi sistemi di protezione contro eventi catastrofici iniziati da eventi terroristici. Inoltre per i sistemi LFR in nessuna configurazione è previsto l'utilizzo di fluidi infiammabili, eliminando quindi il rischio di propagazione di incendi nel sito.

Infine, viste le intrinseche proprietà del refrigerante adottato, non vi è alcun scenario ipotizzabile che possa indurre una propagazione catastrofica della pressione di esercizio del sistema.

L'Accordo di Programma (AdP) fra Ministero dello Sviluppo Economico (M.S.E.) ed ENEA, nell'ambito del tema di ricerca "Energia Nucleare" si pone diversi obiettivi programmatici:

- ***Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare***

L'esigenza primaria è la conservazione o ricostituzione nel nostro Paese di un sistema di competenze scientifiche in grado di assicurare la corretta gestione delle residue attività nucleari, in particolare sotto il profilo della sicurezza.

- ***Studi e ricerche per il deposito delle scorie e dei rifiuti radioattivi***

Il problema del deposito definitivo di scorie radioattive di III categoria è un problema che investe tutti i Paesi che hanno in esercizio centrali nucleari, mentre la disponibilità di un deposito di II categoria è una esigenza primaria per il nostro

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	7	16

Paese, in quanto un deposito di questo tipo deve accogliere anche i rifiuti radioattivi di origine sanitaria, ospedaliera e industriale.

- ***Collaborazione internazionali per il nucleare di IV generazione***

Gli esiti del referendum abrogativo riguardante la costruzione e l'esercizio di nuove centrali elettroneucleari hanno determinato la necessità di abbandonare le attività di ricerca per lo sviluppo di reattori nucleari fino alla generazione III+. Le attività di ricerca riguarderanno esclusivamente i reattori nucleari di IV generazione, in quanto intrinsecamente sicuri, con rendimenti di consumo del combustibile molto elevati, con quote minime di rifiuti di III categoria a lunga vita media. E' opportuno quindi implementare attività di Ricerca & Sviluppo in tale ambito e in sinergia allo sforzo di ricerca che si sta svolgendo a livello internazionale.

Il Piano Annuale di Realizzazione (PAR-2011) relativamente alla linea progettuale 3 "Reattori di Quarta Generazione" prevede l'effettuazione di diverse macro-attività in ambito LFR, tra cui le principali sono:

- ❖ Progettazione di Sistema
- ❖ Materiali Strutturali e Fabbricazioni
- ❖ Termoidraulica del refrigerante
- ❖ Analisi di Sicurezza

In tale ambito, e in sinergia con il progetto europeo SEARCH (FP7, CE), si prevede la installazione e strumentazione sull'impianto NACIE di un pin bundle da 250 kW, per misure di scambio termico e perdite di carico in regime di convezione mista o circolazione naturale.

Tale esperimento permetterà di caratterizzare il comportamento del nocciolo LFR in condizioni di transitori operazionali o incidentali

A tale scopo, si rende necessario provvedere all'approvvigionamento, installazione e collaudo sull'impianto NACIE di un apposito sistema di rimozione del calore, che consiste di uno scambiatore di calore prototipico del tipo "tube-in-shell" a doppia parete con interposto gap di polvere conduttiva.

1. CONCETTUALIZZAZIONE SCAMBIATORE DI CALORE

L'impianto a metallo liquido pesante NACIE è stato definito e progettato con lo scopo di realizzare una “*multipurpose facility*” che possa supportare sperimentalmente lo sviluppo tecnologico dei sistemi refrigerati a piombo-bismuto fluente.

In particolare, gli ambiti nel quale si inserisce l'attività di ricerca e sviluppo prevista sull'impianto NACIE, riguarda:

1. scambio termico;
2. termo-fluidodinamica dei metalli liquidi pesanti;
3. caratterizzazione componenti prototipici;
4. caratterizzazione dei materiali strutturali;
5. controllo della chimica dei metalli liquidi;
6. qualifica e caratterizzazione strumentazione;
7. qualifica e validazione codici di calcolo di fluidodinamica computazionale (CFD);
8. qualifica e validazione codici di sistema.

Lo scambiatore di calore (disegno NA-HE-0100) piombo-bismuto (LBE) acqua, è dimensionato per una potenza di 250 kW. Si tratta di una scambiatore *shell-and-tube* controcorrente a tubi dritti, a doppia camera, con LBE lato tubi ed acqua lato mantello, i cui parametri di esercizio e di progetto sono riportati di seguito.

Sezione massima potenza (250 kW)

- Numero di tubi “lato piombo” 7
- Geometria “lato piombo” tubi su reticolo esagonale
- Portata Nominale LBE 6 kg/s
- Portata Nominale Acqua 60 m³/h
- Pressione Nominale Acqua 16 bar
- Temperatura Ingresso LBE 465 °C
- Temperatura Uscita LBE 230 °C
- Temperatura Ingresso Acqua 170 °C
- Temperatura Uscita Acqua 172 °C
- Sotto-raffreddamento medio 30 °C
- Lunghezza Attiva 2100 mm

Sezione minima potenza (32 kW)

- Numero di tubi “lato piombo” 7
- Geometria “lato piombo” tubi su reticolo esagonale
- Portata Nominale LBE 1 kg/s
- Portata Nominale Acqua 10 m³/h
- Pressione Nominale Acqua 16 bar
- Temperatura Ingresso LBE 420 °C

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	9	16

- Temperatura Uscita LBE 200 °C
- Temperatura Ingresso Acqua 150 °C
- Temperatura Uscita Acqua 153 °C
- Sotto-raffreddamento medio 50 °C
- Lunghezza Attiva (cross-flow) 300 mm

2. OGGETTO DELLA FORNITURA

La presente Specifica ha come oggetto la fornitura, il collaudo e dello scambiatore di calore dell'impianto a metallo liquido pesante NACIE "Natural Circulation Experiment"

3. SCOPO

La Specifica Tecnica ha lo scopo di descrivere l'oggetto della fornitura, di stabilire i criteri generali per la fabbricazione, la certificazione secondo la direttiva 97/23/CE (PED), i controlli, le prove non distruttive, l'imballaggio e quanto necessario alla realizzazione e trasporto presso il C.R. Brasimone.

In linea generale la fornitura comprende:

- l'approvvigionamento dei materiali;
- la realizzazione dei disegni costruttivi;
- le verifiche termo-meccaniche e la relativa certificazione;
- la fabbricazione dei componenti e il relativo assemblaggio;
- i controlli e i test in corso d'opera e di fine realizzazione;
- il dossier di fine fabbricazione comprensivo di certificazioni;
- la pulizia e decapaggio di tutti i componenti;
- l'imballo e la spedizione presso il sito ENEA del Brasimone;
- collaudi finali di accettazione in sito.

4. DESCRIZIONE DELLA FORNITURA E DATI DI PROGETTO

Come riportato nel disegno NA-HE-0100, lo scambiatore di calore è costituito essenzialmente da un mantello con piastre tubiere e bocchelli per l'ingresso e l'uscita dell'acqua di alimento.

All'interno del mantello sono posizionati 7 tubi a doppia parete (con interposta intercapedine in polvere di acciaio AISI304/AISI316) in cui fluisce il piombo-bismuto primario.

I tubi sono collegati ai collettori mediante piastre tubiere.

Le condizioni di progetto lato acqua (mantello) sono:

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	10	16

- ✓ Temperatura di Progetto: 200 °C
- ✓ Pressione di Progetto: 18 bar
- ✓ Temperatura di Esercizio: 170 °C
- ✓ Pressione di Esercizio: 16 bar

Le condizioni di progetto lato LBE (tubi) sono:

- ✓ Temperatura di Progetto: 500 °C
- ✓ Pressione di Progetto: 10 bar
- ✓ Temperatura di Esercizio: 450 °C
- ✓ Pressione di Esercizio: 3 bar

Il componente ha un peso complessivo, in condizioni di esercizio, pari a 2500 kg.

Sul lato primario dello scambiatore (LBE) è prevista una struttura a doppia parete “tubo in tubo” con un gap nominale di 2.45 mm. Il tubo interno è fornito, sulla superficie esterna, di distanziali disposti a 120° su due quote come riportato nel disegno NA-HE-0106.

Il gap tra tubo interno ed esterno è riempito con polvere di acciaio AISI304/316L e granulometria tra 0 e 200 micron.

Nella parte inferiore dello scambiatore, secondo le indicazioni del Cliente, il gap contenente la polvere dovrà essere sigillato con opportuno sistema tipo “baderna e premistoppa”, ovvero mediante “boccole in grafite armata”, atte al contenimento della polvere durante l’esercizio, tenute in sede da “premistoppa” fissati, per esempio con punti di saldatura, sui tubi interni. Il Fornitore si dovrà responsabilizzare su tale soluzione, proponendo alternative diverse qualora queste semplifichino la fabbricazione.

La polvere dovrà essere presente lungo tutta la lunghezza attiva, in modo da garantire le corrette condizioni di scambio termico.

Il volume minimo di polvere da inserire per ogni tubo sarà quindi pari a 1.25 litri, con una densità apparente della polvere pari a 0.6-0.9 della densità teorica.

Il Fornitore dovrà responsabilizzarsi, proponendo e concordando con il Cliente, la migliore procedura di riempimento del gap mediante polvere di acciaio, certificando il contenuto in polvere di ogni gap.

Il Fornitore comunicherà al Cliente l’avvio delle procedure di riempimento dei gap con polvere in acciaio. ENEA si riserverà la possibilità di presidiare a tali attività, comunicando entro 3 giorni lavorativi la propria presenza.

Per quanto riguarda il fluido di lavoro si adotterà del piombo-bismuto in composizione eutettica, le cui caratteristiche chimico-fisiche sono di seguito riportate:

T [°C]	ρ [kg/m ³]	β [K ⁻¹]	Cp [J/kg K]	σ [N/m]	k [W/m K]	μ [Pa s]	Pr	v [m ² /s]	Sound Velocity [m/s]
200	10469,7	1,26E-04	147,7	0,406	10,8	2,4E-03	0,033	2,3E-07	1758,3
210	10456,5	1,27E-04	147,5	0,405	10,9	2,4E-03	0,032	2,3E-07	1756,6
220	10443,3	1,27E-04	147,3	0,405	11,1	2,3E-03	0,030	2,2E-07	1754,9
230	10430,0	1,27E-04	147,1	0,404	11,2	2,2E-03	0,029	2,1E-07	1753,0
240	10416,8	1,27E-04	146,9	0,403	11,4	2,1E-03	0,028	2,1E-07	1751,2
250	10403,6	1,27E-04	146,7	0,403	11,5	2,1E-03	0,027	2,0E-07	1749,2
260	10390,3	1,27E-04	146,5	0,402	11,7	2,0E-03	0,025	2,0E-07	1747,3
270	10377,1	1,28E-04	146,3	0,401	11,8	2,0E-03	0,024	1,9E-07	1745,2
280	10363,9	1,28E-04	146,1	0,401	12,0	1,9E-03	0,024	1,9E-07	1743,1
290	10350,6	1,28E-04	145,9	0,400	12,2	1,9E-03	0,023	1,8E-07	1741,0
300	10337,4	1,28E-04	145,7	0,399	12,3	1,8E-03	0,022	1,8E-07	1738,7
310	10324,1	1,28E-04	145,6	0,399	12,5	1,8E-03	0,021	1,7E-07	1736,5
320	10310,9	1,28E-04	145,4	0,398	12,6	1,8E-03	0,020	1,7E-07	1734,1
330	10297,7	1,29E-04	145,2	0,397	12,8	1,7E-03	0,020	1,7E-07	1731,8
340	10284,4	1,29E-04	145,0	0,397	12,9	1,7E-03	0,019	1,6E-07	1729,3
350	10271,2	1,29E-04	144,8	0,396	13,1	1,7E-03	0,018	1,6E-07	1726,8
360	10258,0	1,29E-04	144,6	0,395	13,2	1,6E-03	0,018	1,6E-07	1724,2
370	10244,7	1,29E-04	144,5	0,395	13,4	1,6E-03	0,017	1,6E-07	1721,6
380	10231,5	1,29E-04	144,3	0,394	13,5	1,6E-03	0,017	1,5E-07	1719,0
390	10218,3	1,30E-04	144,1	0,393	13,7	1,5E-03	0,016	1,5E-07	1716,2
400	10205,0	1,30E-04	143,9	0,393	13,8	1,5E-03	0,016	1,5E-07	1713,4
410	10191,8	1,30E-04	143,7	0,392	14,0	1,5E-03	0,015	1,5E-07	1710,6
420	10178,5	1,30E-04	143,6	0,391	14,1	1,5E-03	0,015	1,4E-07	1707,7
430	10165,3	1,30E-04	143,4	0,391	14,3	1,4E-03	0,015	1,4E-07	1704,7
440	10152,1	1,30E-04	143,2	0,390	14,4	1,4E-03	0,014	1,4E-07	1701,7
450	10138,8	1,31E-04	143,1	0,389	14,6	1,4E-03	0,014	1,4E-07	1698,6
460	10125,6	1,31E-04	142,9	0,389	14,7	1,4E-03	0,013	1,4E-07	1695,5
470	10112,4	1,31E-04	142,7	0,388	14,9	1,4E-03	0,013	1,3E-07	1692,3
480	10099,1	1,31E-04	142,6	0,387	15,0	1,3E-03	0,013	1,3E-07	1689,0
490	10085,9	1,31E-04	142,4	0,387	15,2	1,3E-03	0,012	1,3E-07	1685,7
500	10072,7	1,31E-04	142,2	0,386	15,3	1,3E-03	0,012	1,3E-07	1682,4
510	10059,4	1,32E-04	142,1	0,385	15,5	1,3E-03	0,012	1,3E-07	1678,9
520	10046,2	1,32E-04	141,9	0,385	15,6	1,3E-03	0,012	1,3E-07	1675,5
530	10033,0	1,32E-04	141,7	0,384	15,8	1,3E-03	0,011	1,3E-07	1671,9
540	10019,7	1,32E-04	141,6	0,383	15,9	1,2E-03	0,011	1,2E-07	1668,3
550	10006,5	1,32E-04	141,4	0,383	16,1	1,2E-03	0,011	1,2E-07	1664,7
560	9993,2	1,32E-04	141,3	0,382	16,2	1,2E-03	0,011	1,2E-07	1661,0
570	9980,0	1,33E-04	141,1	0,381	16,4	1,2E-03	0,010	1,2E-07	1657,2
580	9966,8	1,33E-04	141,0	0,381	16,6	1,2E-03	0,010	1,2E-07	1653,4
590	9953,5	1,33E-04	140,8	0,380	16,7	1,2E-03	0,010	1,2E-07	1649,5
600	9940,3	1,33E-04	140,7	0,379	16,9	1,2E-03	0,010	1,2E-07	1645,6

5. REQUISITI DELLA FORNITURA

La fornitura dovrà essere in accordo alle prescrizioni elencate nei successivi paragrafi.

5.1 FABBRICAZIONE

Il Fornitore si dovrà responsabilizzare sulle scelte effettuate dal Cliente nel progetto concettuale proposto. Tuttavia potrà proporre soluzioni diverse qualora ne semplifichino la fabbricazione.

Sulla base dei disegni di assieme del Cliente, il Fornitore dovrà produrre i disegni di dettaglio ritenuti necessari per definire le dimensioni e le tolleranze finalizzate alla realizzazione dei componenti di impianto in officina.

Nell'assemblare i componenti di impianto dovrà essere prestata particolare attenzione al rispetto delle tolleranze dimensionali stabilite dalla norma UNI EN ISO 13920 scegliendo per ogni tipologia la classe di tolleranza migliore.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	12	16

5.2 MATERIALI

I componenti oggetto della fornitura dovranno essere realizzati in acciaio austenitico tipo AISI 316L, a meno che non venga specificatamente indicato un materiale diverso dal Cliente.

L'approvvigionamento e la ricezione dei materiali dovranno essere condotti conformemente alle norme ASTM, UNI e DIN, accompagnati da certificati di origine, comprovanti le caratteristiche chimico-fisiche e i trattamenti subiti relativi al lotto di materiale della fornitura.

Per le parti per le quali non sia applicabile alcuna delle norme indicate, il Fornitore dovrà procedere secondo il proprio standard aziendale, previa autorizzazione del Cliente.

Nell'approvvigionamento dei tubi dello scambiatore di calore si dovrà far riferimento alla normativa UNI EN ISO 1127, scegliendo la classe di tolleranza D4 per i diametri esterno (+/-0,5% sul diametro esterno) e la classe di tolleranza T4 per lo spessore (+/- 7,5 % sullo spessore): in tal modo risultano assicurate le dimensioni che consentono il montaggio corretto dei tubi con i dispositivi distanziali proposti nel progetto. Oltre alle tolleranze suddette, i tubi non dovranno eccedere dalla freccia massima di 1-1,5 mm/mt lineare.

Le guarnizioni di tenuta delle flange di collegamento sui vari componenti dovranno essere del tipo spirometallico a spire alternate grafite e AISI 316 (HB<160) di spessore 4.5 mm, con anello esterno di centraggio e anello di compressione interno in AISI 316, con spessore di 3 mm, dimensionate secondo ASME B16.20 (m=3.00 ;Y=68.9 MPa).

La bulloneria di collegamento tra le flange con interposte le guarnizioni spirometalliche dovrà essere in acciaio inossidabile austenitico secondo ASTM A193 B8.

5.3 SALDATURE

Il riferimento normativo per quanto riguarda i giunti saldati è la Direttiva 97/23/CE (PED).

Per le saldature dovrà essere prodotto un documento che riporti per ogni giunzione:

- procedimento usato,
- qualifica saldatura,
- tipo di elettrodo e omologazione,
- qualifica del saldatore,
- controlli non distruttivi previsti.

5.4 PROVE IN PRESSIONE

Il Cliente richiede che venga eseguita una prova in pressione (idraulica), secondo direttiva 97/23/CE (PED), per collaudo e accettazione dello scambiatore di calore completamente assemblato, presso le officine del Fornitore.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	13	16

5.5 PULIZIA

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla pulizia dei manufatti, sia in fase di fabbricazione che durante il trasporto. Dovrà essere garantito un alto livello di pulizia necessario ad evitare che residui di lavorazioni meccaniche, scorie di saldatura, polvere ecc. possano depositarsi all'interno dei componenti di impianto.

Tutti i componenti di impianto dovranno essere sgrassati e decapati presso le officine del Fornitore.

6. ESTENSIONE DELLA FORNITURA

La fornitura comprende, oltre ai manufatti descritti,

- la bulloneria di collegamento
- le contro-flange cieche
- le guarnizioni di tenuta
- componenti e accessori per l'esecuzione delle prove di tenuta
- i supporti dello scambiatore.

Relativamente ai supporti dello scambiatore il Fornitore dovrà responsabilizzarsi sulla definizione, progettazione e realizzazione, da concordare con il Cliente.

La fornitura include, inoltre, il dossier di fine fabbricazione (in formato cartaceo ed elettronico), dove sono raccolti tutti i documenti riguardanti:

- l'approvvigionamento dei materiali e i relativi certificati;
- i disegni di officina necessari per la fabbricazione;
- la descrizione delle saldature e i controlli effettuati,
- le prove di tenuta realizzate e la relativa procedura adottata;
- le note di calcolo prodotte per i vari dimensionamenti effettuati;
- i controlli dimensionali effettuati;
- la procedura di sgrassatura e decapaggio adottata;
- le certificazioni richieste secondo la direttiva 97/23/CE (PED)

Prima dell'inizio delle attività di costruzione il Fornitore dovrà emettere un documento, Piano di Fabbricazione e Controllo, da sottoporre al Committente per approvazione, in cui saranno descritte le fasi salienti del processo di fabbricazione dei vari componenti. Il documento dovrà evidenziare i punti più significativi per il controllo della fornitura sui quali il Committente indicherà quelli a cui intende presenziare.

In particolare, il Fornitore dovrà comunicare, con opportuno anticipo, le date di esecuzione delle prove a cui il Committente intende partecipare. In ogni caso, il Fornitore dovrà tenere a disposizione del Cliente tutta la documentazione relativa alle fasi di fabbricazione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	14	16

6.1 CONTROLLI DIMENSIONALI E PROVE IN OFFICINA

Il Cliente si riserva, in accordo con il Fornitore, di eseguire visite presso l'officina dello stesso durante la fabbricazione al fine di controllarne l'andamento, mediante l'esecuzione di controlli dimensionali e ispezioni visive per verificare la congruità dei componenti con quanto indicato nei disegni concettuali forniti.

6.2 IMBALLO E TRASPORTO

Gli imballi dovranno essere idonei a garantire la conservazione della pulizia, la protezione delle parti e l'integrità strutturale della fornitura, durante il trasporto fino al sito ENEA del Brasimone.

6.3 PARTI DI RICAMBIO

Nella fornitura sono incluse come parti di ricambio guarnizioni di tenuta (5 per ogni giunto).

6.4 ACCETTAZIONE E GARANZIA

L'accettazione dello scambiatore di calore, completamente assemblato, avverrà presso le officine del Fornitore a seguito del buon esito della prova di tenuta.

L'accettazione finale avverrà presso il Centro ENEA del Brasimone a seguito della verifica dell'integrità dei componenti, e del buon stato di conservazione dopo l'effettuazione del trasporto.

La garanzia avrà la durata di 24 mesi e inizierà dalla data di accettazione della fornitura.

In caso di esito negativo dell'accettazione dello scambiatore di calore sarà a completo carico del Fornitore apportare tutte le modifiche necessarie per soddisfare i requisiti di prestazioni e funzionalità riportate in Specifica Tecnica.

7. LIMITI DI FORNITURA, ESCLUSIONI, INTERFACCE

Sono escluse dalla presente fornitura:

- cavi traccianti e coibentazione.

8. DURATA DELLA FORNITURA, PENALI, PAGAMENTI

La presente fornitura dovrà essere ultimata entro il **14 Settembre 2012**.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	15	16

Per ogni giorno solare di ritardo nella consegna della fornitura sarà applicata la penale dello 0,3% (tre per mille) dell'importo totale.

L'importo globale della penale applicabile non potrà superare, comunque, il 10% dell'importo totale della fornitura.

Qualora l'ammontare complessivo della penale ecceda il 10% del valore del contratto, il responsabile ENEA può risolvere il contratto e provvedere all'esecuzione in danno.

I pagamenti saranno effettuati, a fronte di presentazione di regolare fattura posticipata, come di seguito riportato:

- 80% dell'ammontare totale a esito positivo dell'accettazione dello scambiatore di calore completamente assemblato presso le officine del fornitore;
- 20% dell'ammontare totale a esito positivo dell'accettazione finale presso il Centro ENEA del Brasimone.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP3 - 065	0	L	16	16

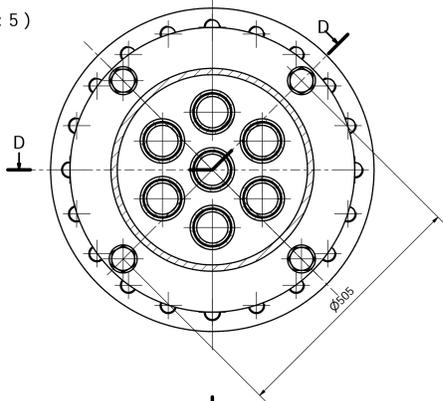
9. ALLEGATI

9.1 DISEGNI

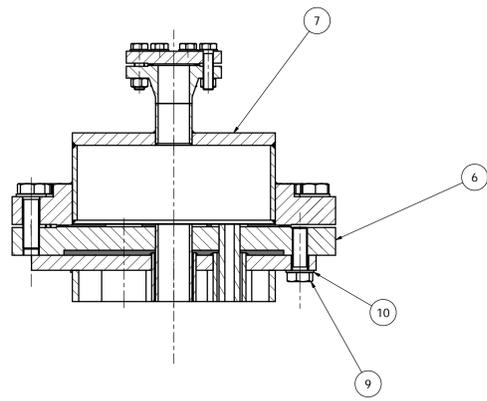
Di seguito sono elencati i disegni alla presente Specifica Tecnica.

1. NA-HE-0100-Assieme Scambiatore 16 bar
2. NA-HE-0101-Assime Mantello HE
3. NA-HE-0102-Collettore Pb inlet
4. NA-HE-0103-Collettore Pb outlet
5. NA-HE-0104-Piastra tubiera Pb outlet
6. NA-HE-0105-Piastra tubiera Pb inlet
7. NA-HE-0106-Tubo Interno
8. NA-HE-0107-Guarnizione Isolante

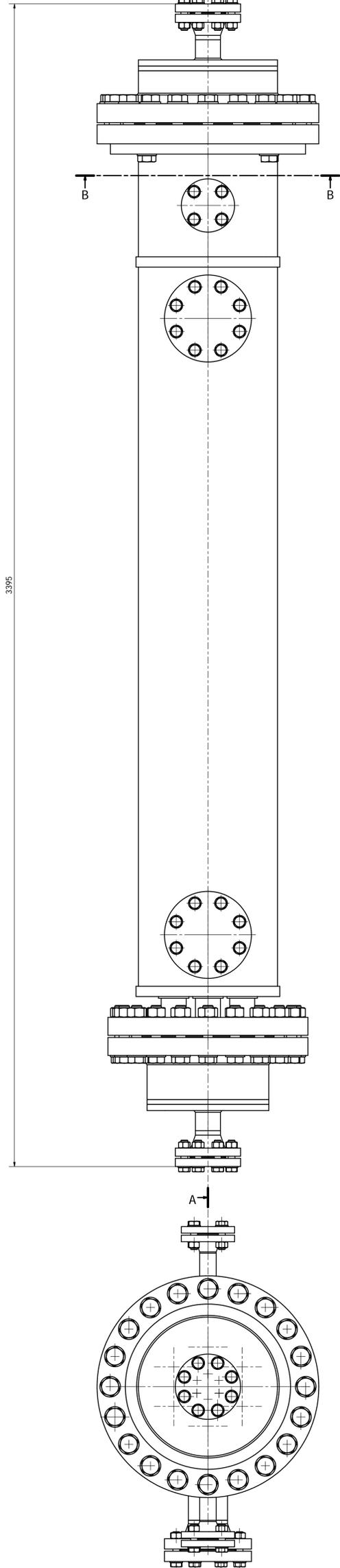
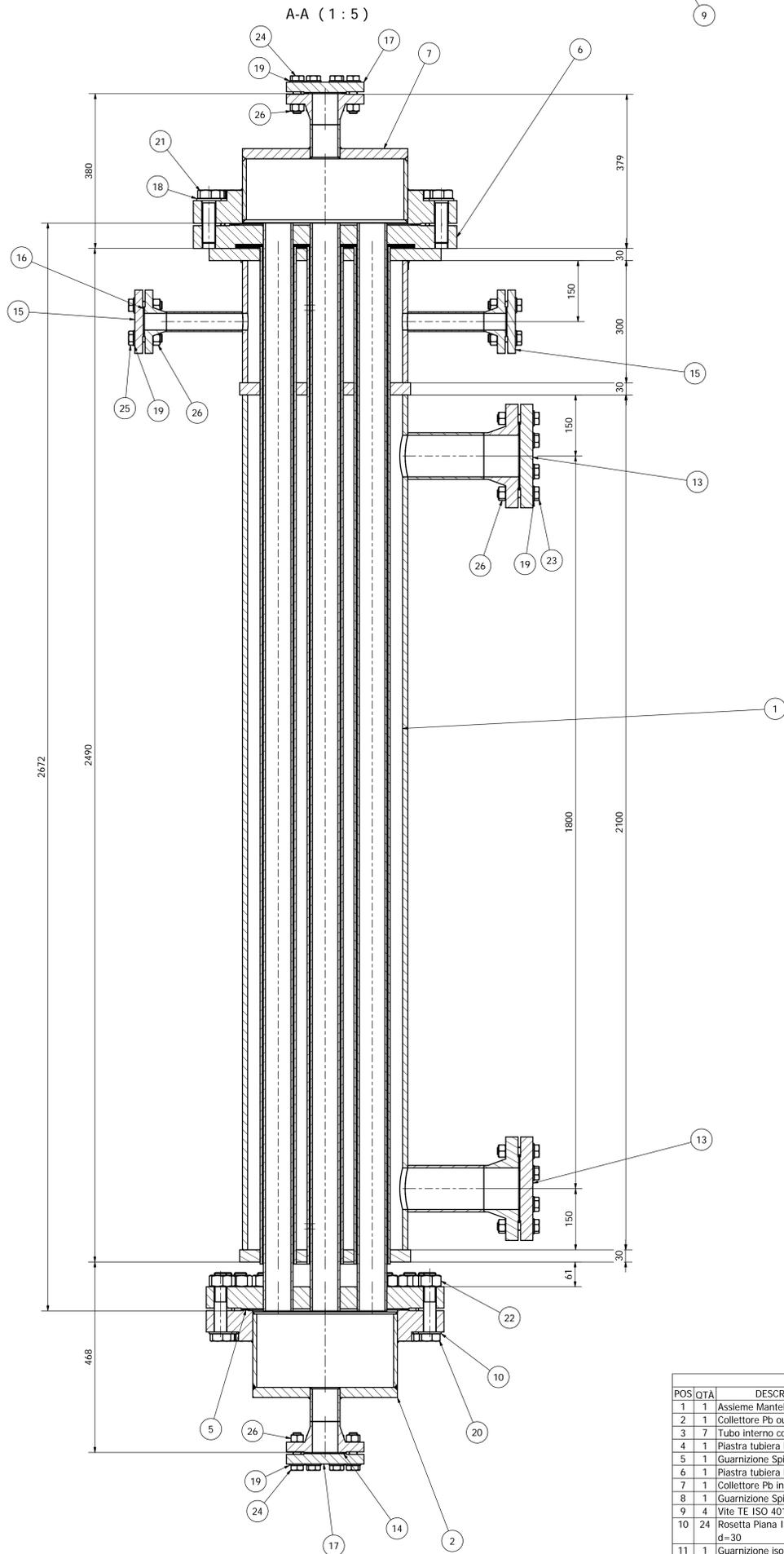
B-B (1:5)



Sezione D-D (1:5)



A-A (1:5)

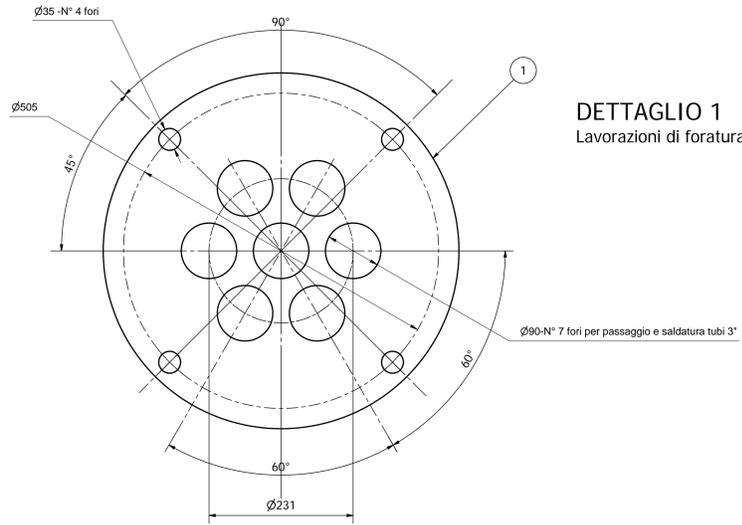
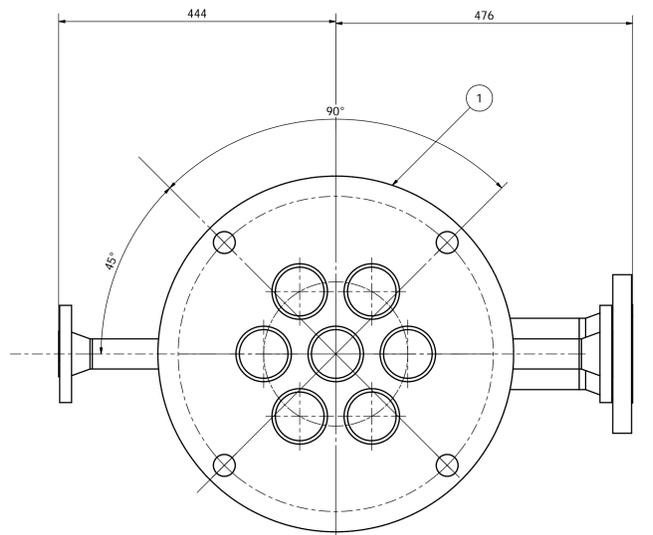
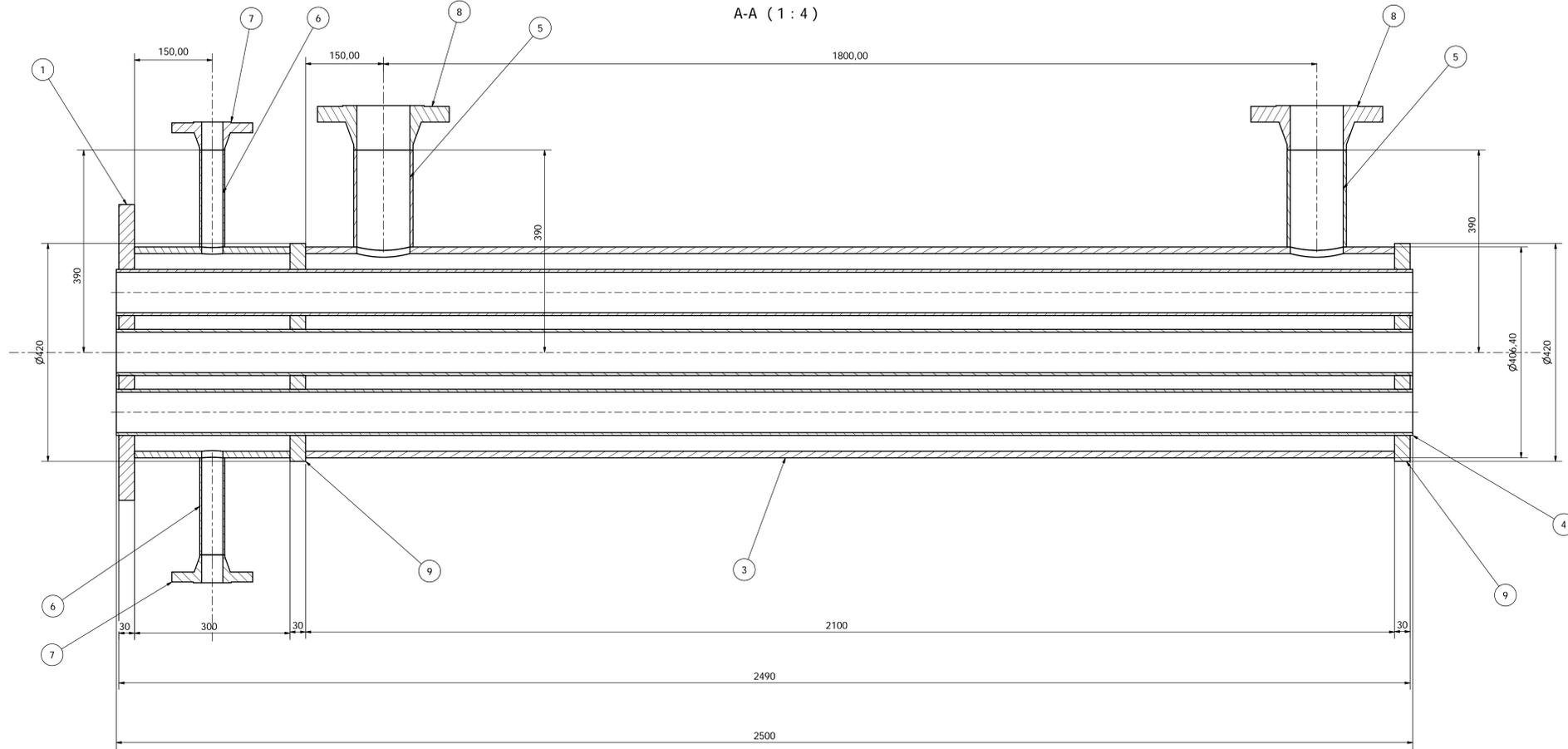


NOTA 1:

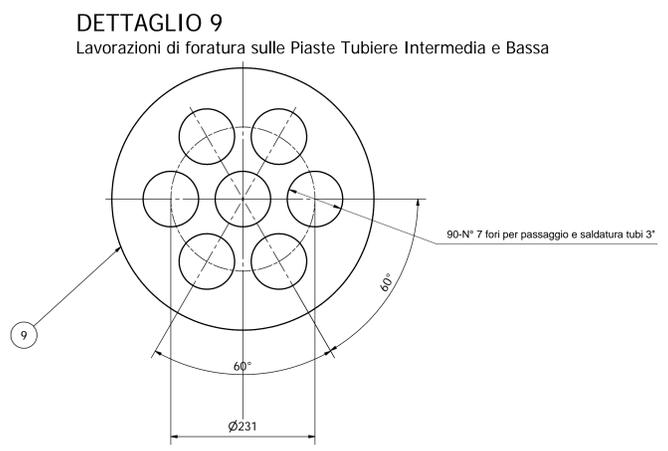
Guarnizione spirometallica, spire alternate di grafite e AISI 316 (HB<160) spessore 4.5 mm, con anello esterno di centraggio e anello di compressione interno in AISI 316 di spessore 3 mm, dimensionate secondo ASME B16.20- m=3; y=68.9 MPa.

Elenco parti					
POS	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE	DISEGNO
1	1	Asieme Mantello HE			NA-HE-0101
2	1	Collettore Pb outlet			NA-HE-0103
3	7	Tubo interno con distanziali			NA-HE-0106
4	1	Plastra tubiera Pb outlet			NA-HE-0104
5	1	Guarnizione Spirometallica 14"	AISI 316 e Grafite	Vedi Nota 1	
6	1	Plastra tubiera Pb inlet			NA-HE-0105
7	1	Collettore Pb inlet			NA-HE-0102
8	1	Guarnizione Spirometallica 16"	AISI 316 e Grafite	Vedi Nota 1	
9	4	Vite TE ISO 4017 - M30 x 90	ASTM A193 Gr B8		
10	24	Rosetta Piana ISO 7089 - d=30	AISI 304		
11	1	Guarnizione isolante	Rif. to Disegno		NA-HE-0107
12	2	Guarnizione Spirometallica 4"	AISI 316 e Grafite	Vedi Nota 1	
13	2	Flangia cieca 4", 300 lbs, ANSI B 16.5	AISI 316L		
14	2	Guarnizione Spirometallica 2 1/2"	AISI 316 e Grafite	Vedi Nota 1	
15	2	Flangia cieca 1 1/2", 300 lbs, ANSI B16.5	AISI 316L		
16	2	Guarnizione Spirometallica 1 1/2"	AISI 316 e Grafite	Vedi Nota 1	
17	2	Flangia cieca 2 1/2", 300 lbs, ANSI B 16.5	AISI 316L		
18	20	Rondella piana ISO 7089 - d=33	AISI 304		
19	40	Rondella piana ISO 7089 - d=20	AISI 304		
20	20	Vite TE ISO 4014 - M30 x 150	ASTM A 193 Gr B8		
21	20	Vite TE ISO 4017 - M33 x 110	ASTM A 193 Gr B8		
22	20	Dado esagonale ISO 4032 - M33	ASTM A194 Gr B8		
23	16	Vite TE ISO 4017 - M20 x 90	ASTM A 193 Gr 8		
24	16	Vite TE ISO 4017 - M20 x 80	ASTM A 193 Gr 8		
25	8	Vite TE ISO 4017 - M20 x 70	ASTM A 193 Gr 8		
26	40	Dado esagonale ISO 4032 - M20	ASTM A194 Gr B8		

A-A (1:4)



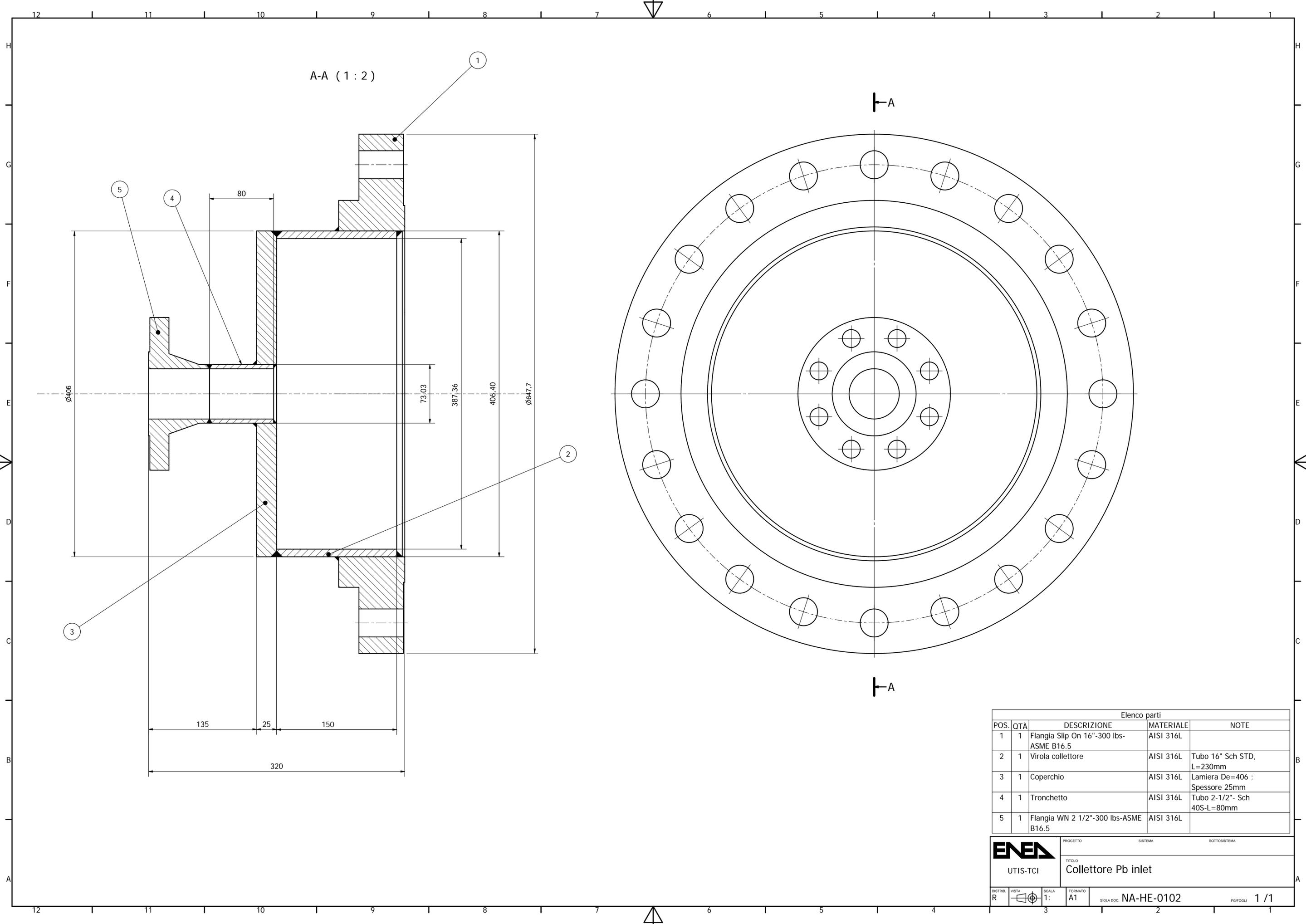
DETTAGLIO 1
Lavorazioni di foratura sulla Piastra Tubiera



DETTAGLIO 9
Lavorazioni di foratura sulle Piastre Tubiere Intermedia e Bassa

POS.	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Piastra tubiera H2O- Dest=570xspess.30 mm	AISI 316L	
2	1	Fasciame bassa potenza-Tubo 16" Sch. 40, Lungh. 300 mm	AISI 316L	ANSI B36.10
3	1	Fasciame piena potenza-Tubo 16" Sch. 40, Lungh.	AISI 316L	ANSI B36.10
4	7	Tubo esterno 3" Sch 40, Lungh. 2500 mm	AISI 316L	ANSI B36.10
5	2	Bocchello H2O, 4" Sch. 40	AISI 316L	
6	2	Bocchello H2O, 1 1/2" Sch. 40	AISI 316L	
7	2	Flangia WN 1 1/2", 300 lbs, ANSI B16.5	AISI 316L	
8	2	Flangia WN 4", 300 lbs, ANSI B16.5	AISI 316L	
9	2	Piastra tubiera H2O Intermedia-Bassa-Dest=420xspess. 30 mm	AISI 316L	

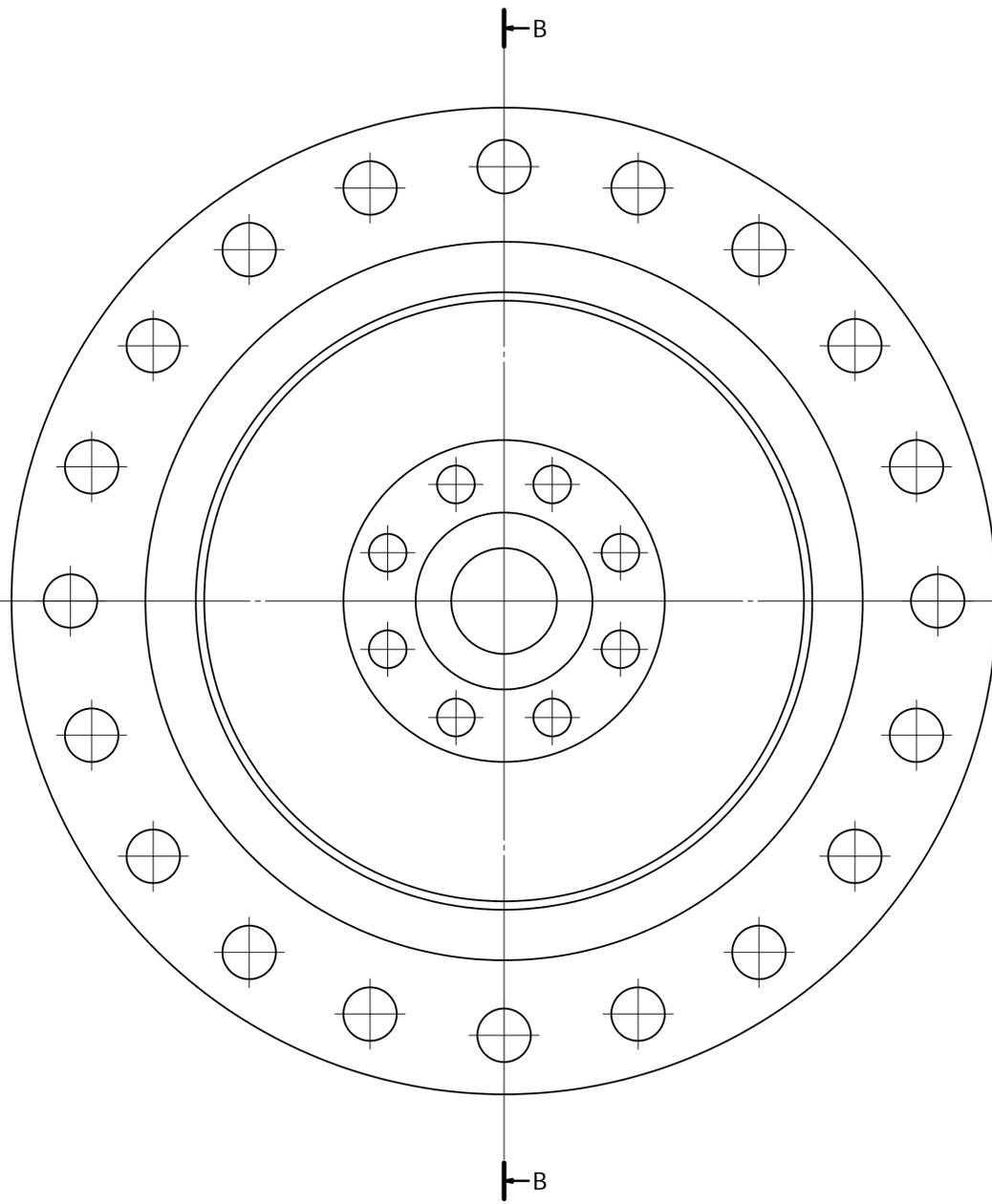
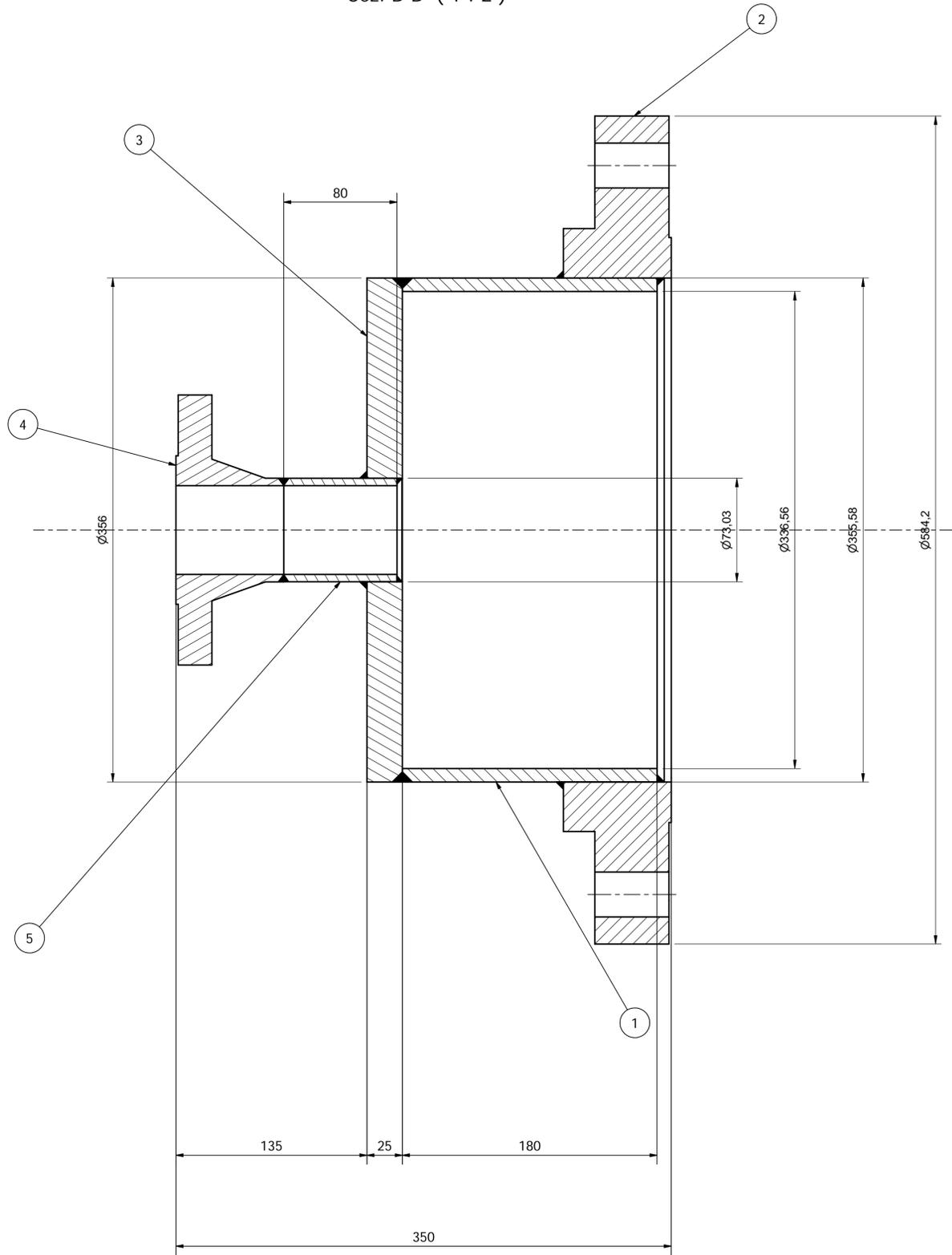
ENEA PROGETTO SISTEMA SOFFOGGIEMTA
 UTIS-TCI TITOLO Assieme Mantello HE
 DETTA: R DATA: 1/3/17 SCALA: 1:1 FORMATO: A0 SINGOLA DOC: NA-HE-0101 PAGINA: 1/1



Elenco parti				
POS.	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Flangia Slip On 16"-300 lbs-ASME B16.5	AISI 316L	
2	1	Virola collettore	AISI 316L	Tubo 16" Sch STD, L=230mm
3	1	Coperchio	AISI 316L	Lamiera De=406 ; Spessore 25mm
4	1	Tronchetto	AISI 316L	Tubo 2-1/2"- Sch 40S-L=80mm
5	1	Flangia WN 2 1/2"-300 lbs-ASME B16.5	AISI 316L	

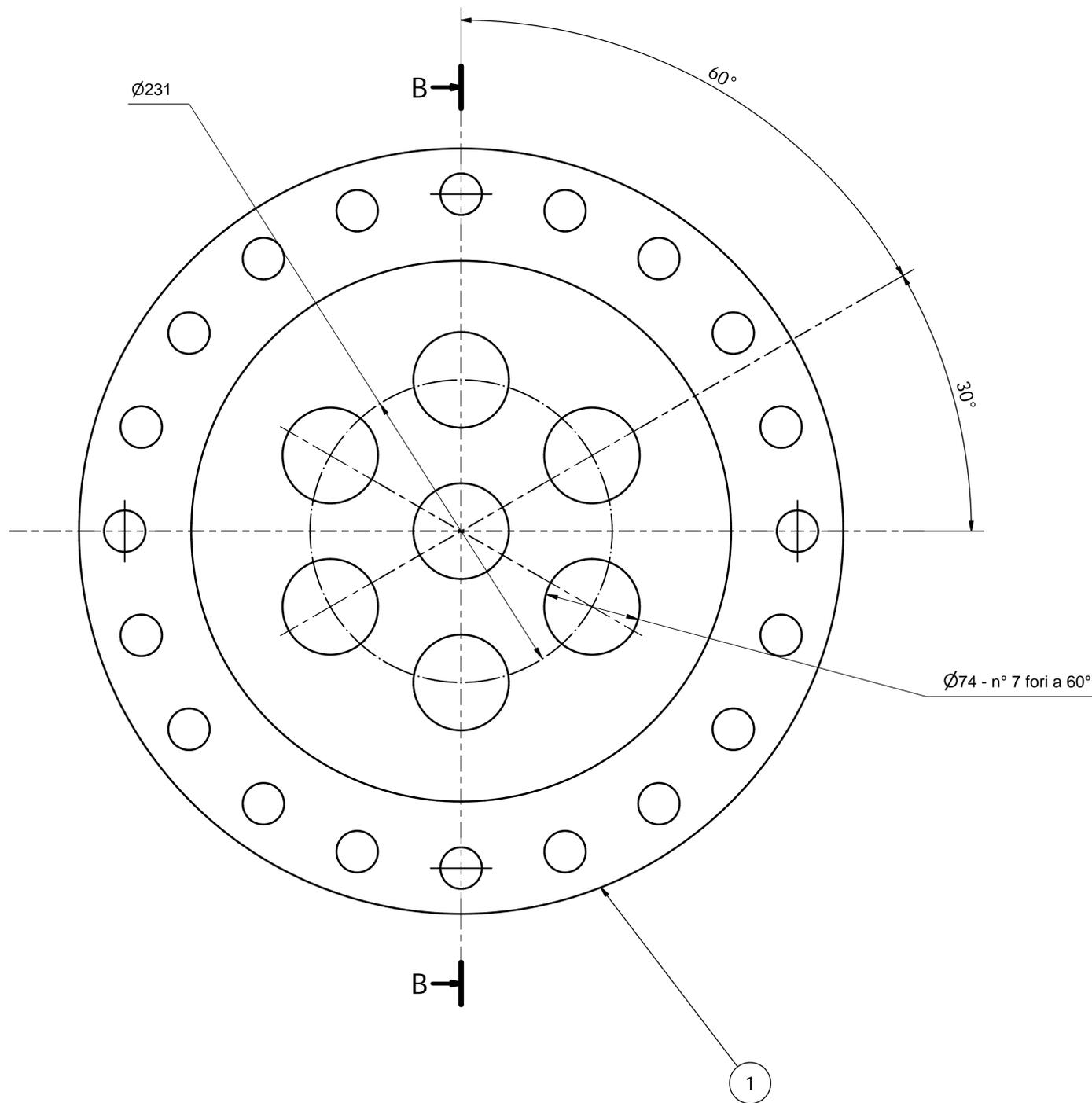
ENEA	PROGETTO	SISTEMA	SOTTOSISTEMA
	TITOLO		
UTIS-TCI	Collettore Pb inlet		
DISTRIB. R	VISTA	SCALA	FORMATO
		1:	A1
SIGLA DOC. NA-HE-0102		FG/FOGLI 1 / 1	

Sez. B-B (1 : 2)

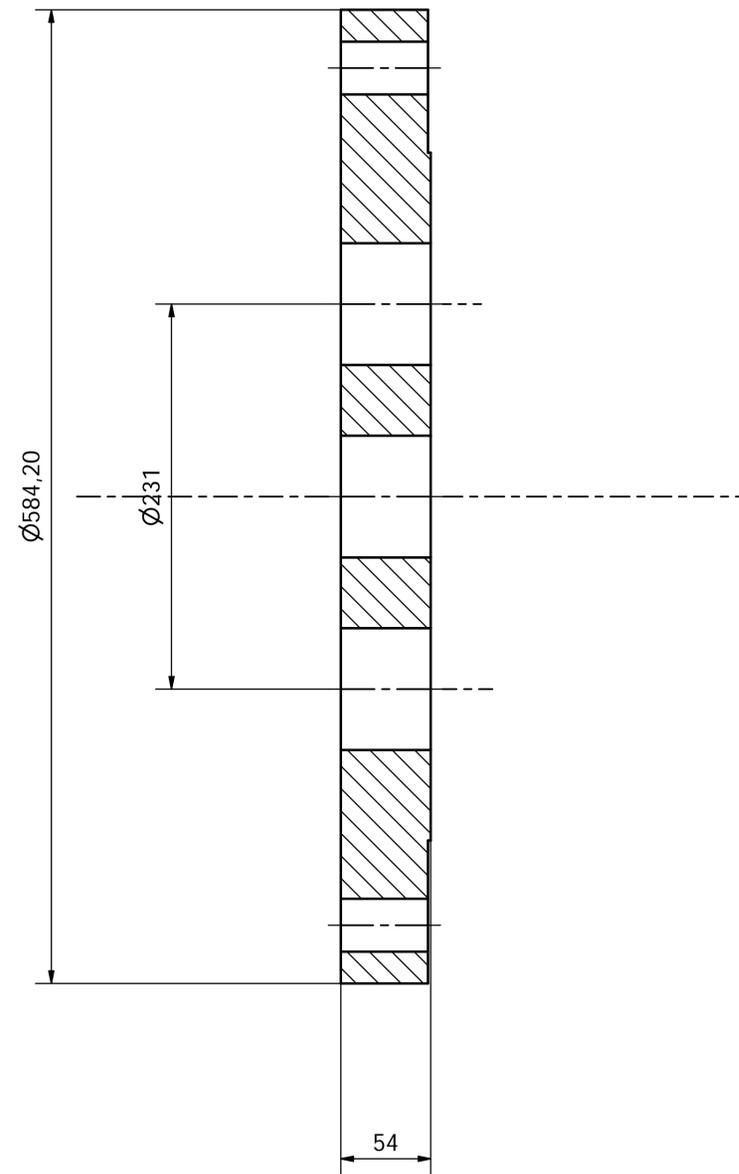


Elenco parti				
POS.	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Virola	AISI 316L	Tubo 14" Sch STD; L=180
2	1	Flangia Slip On 14"-300 lbs-ASME B16.5	AISI 316L	
3	1	Coperchio	AISI 316L	Lamiera De=355, Spess=25
4	1	Flangia WN 2 1/2" -300lbs-ASME B16.5	AISI 316L	
5	1	Tronchetto	AISI 316L	Tubo 2 1/2" , L= 80

ENEA	PROGETTO	SISTEMA	SOTTOSISTEMA
	TITOLO		
UTIS-TCI	Collettore Pb outlet		
DISTRIB. R	VISTA	SCALA	FORMATO
		1:	A1
SIGLA DOC. NA-HE-0103		FG/FOGLI 1 / 1	



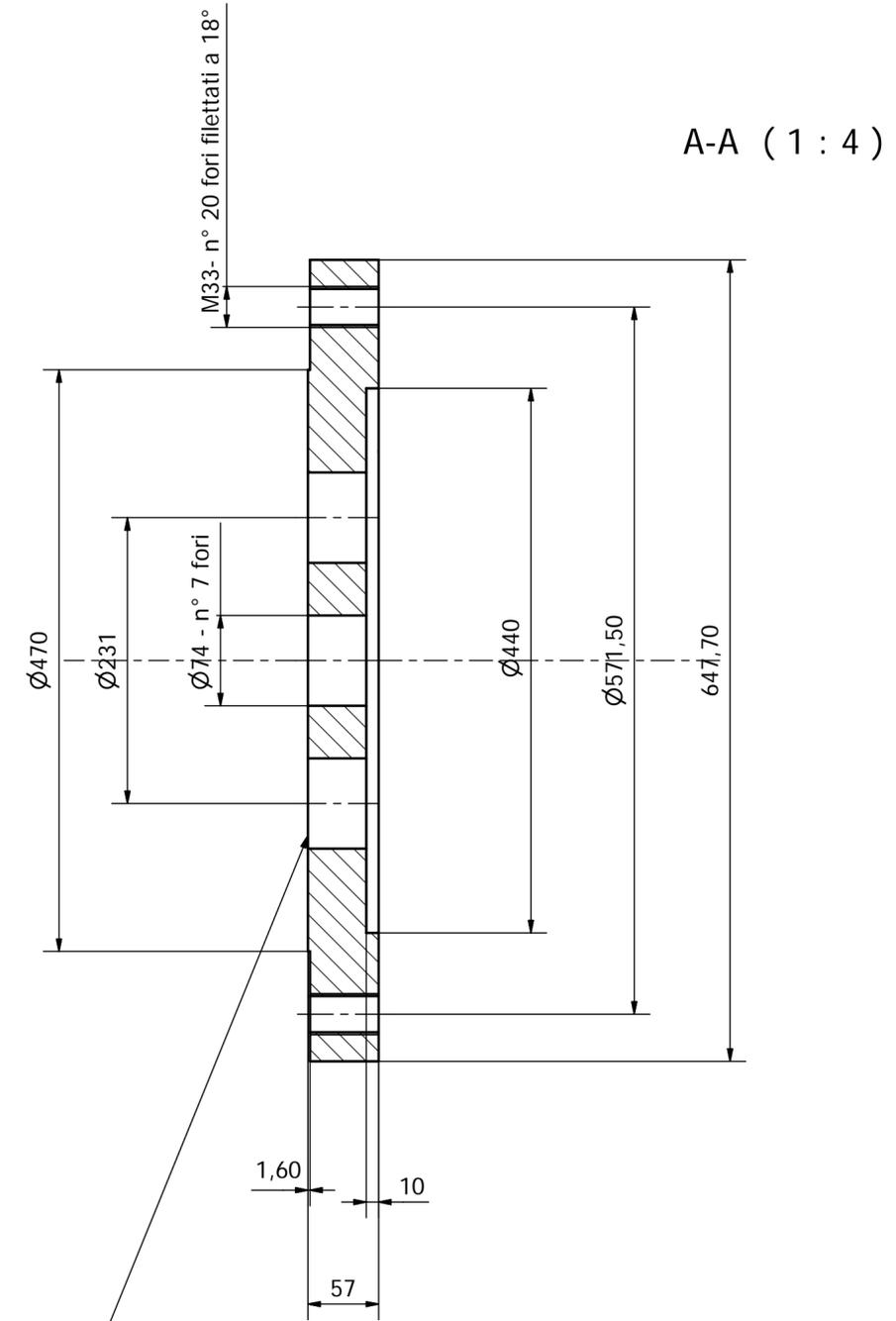
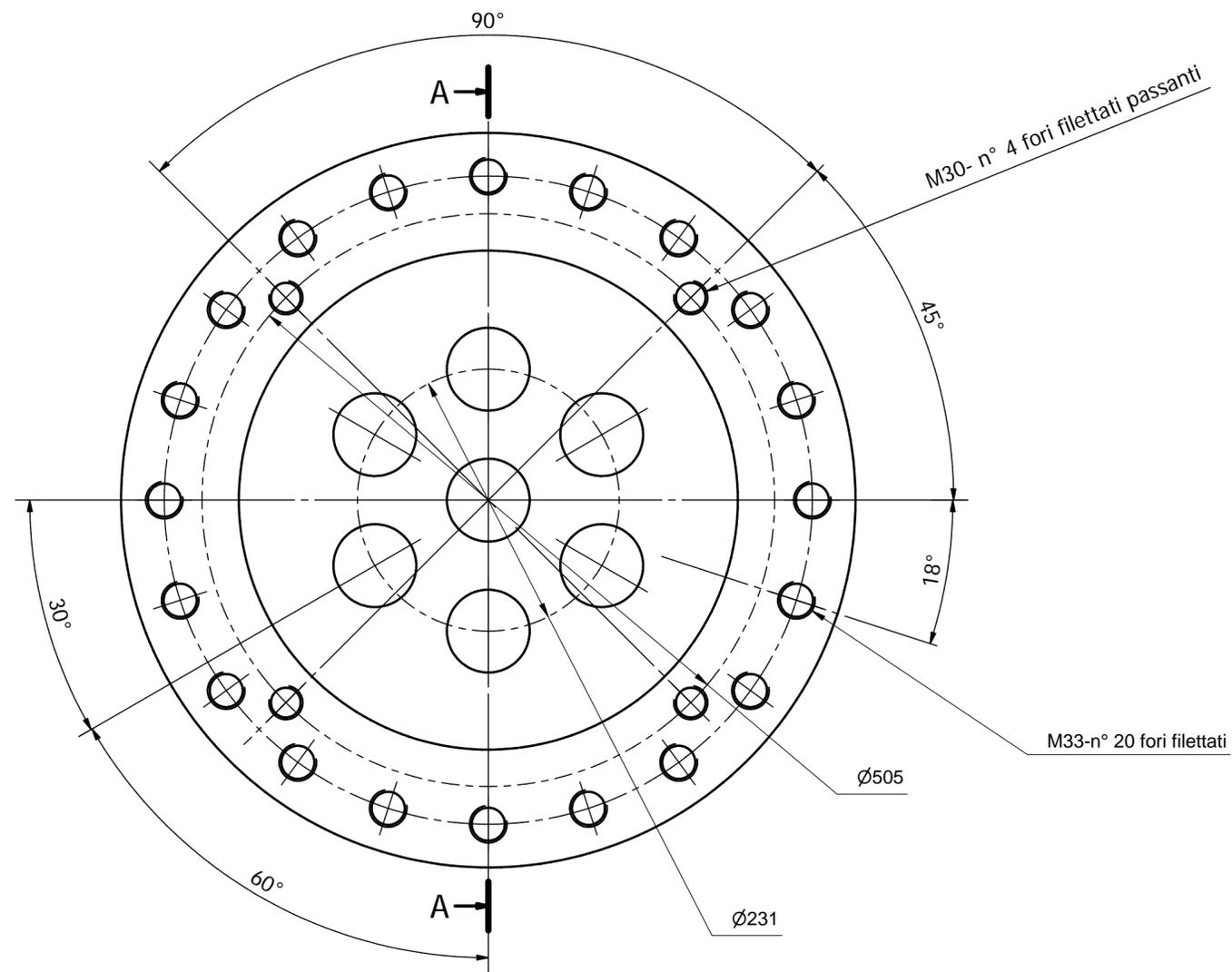
B-B (1 : 3)



NOTA
Lavorazioni di foratura eseguite su Flangia Cieca 14", 300 lbs ASME B16.5

Elenco parti				
POS.	QTÀ	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Piastra tubiera Pb outlet	AISI 316L	Ricavare da Flangia Cieca 16" - 300 lbs ASME B16.5

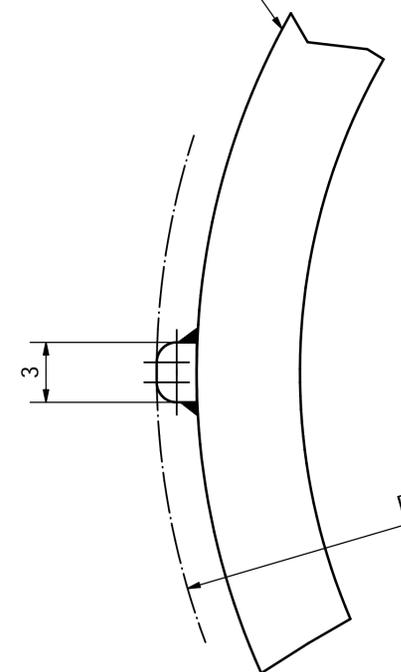
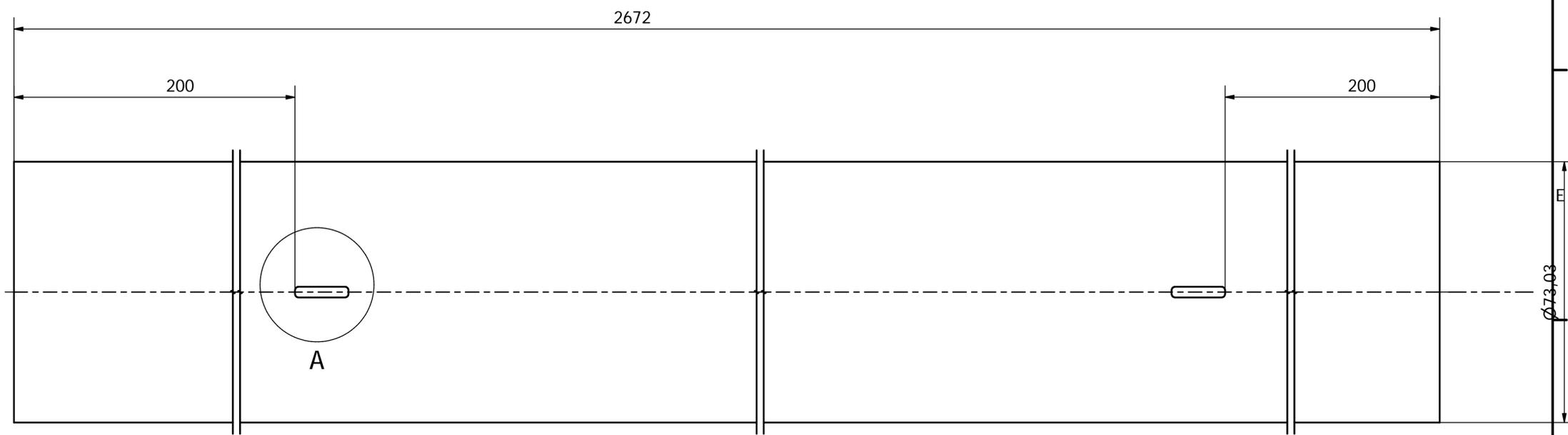
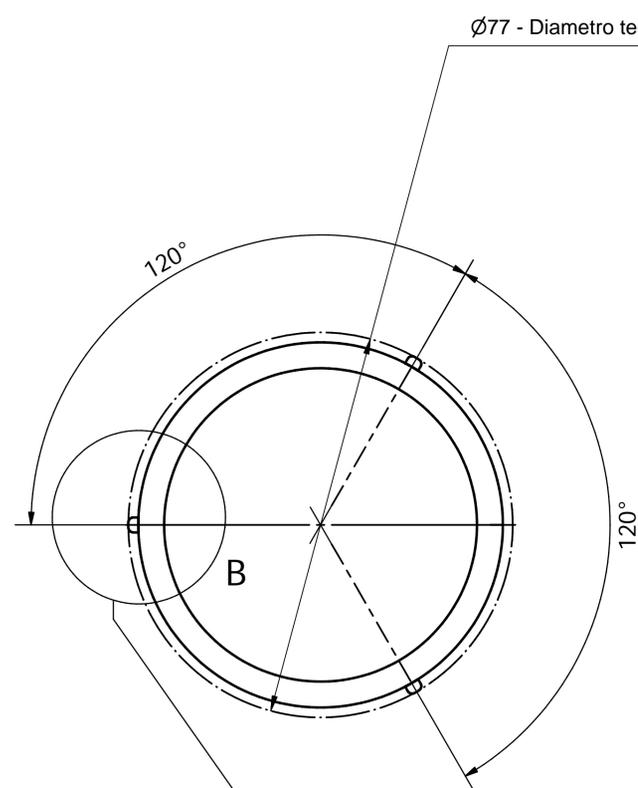
ENEA	PROGETTO	SISTEMA	SOTTOSISTEMA
	TITOLO		
UTIS-TCI	Piastra tubiera Pb outlet		
DISTRIB. R	VISTA 3	SCALA 1:	FORMATO A2
SIGLA DOC. NA-HE-0104		FG/FOGLI 1 / 1	



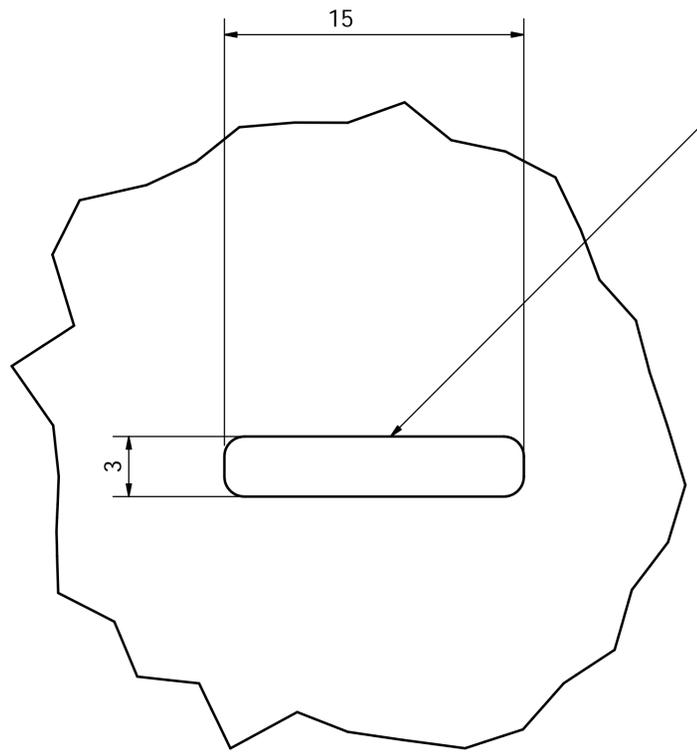
Superficie lavorata per accoppiamento
Guarnizione Spirometallica da 16"

Elenco parti				
POS.	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Piastra tubiera Ingresso Piombo	AISI 316L	Le dimensioni e la qualità delle lavorazioni delle superfici devono essere comparabili a quelle di una flangia cieca 16"- 300 lbs- ASME B 16.5

ENEA	PROGETTO	SISTEMA	SOTTOSISTEMA
	TITOLO		
UTIS-TCI	Piastra tubiera Pb inlet		
DISTRIB.	VISTA	SCALA	FORMATO
R		1:	A2
SIGLA DOC.		NA-HE-0105	FG/FOGLI
			1 / 1



Dettaglio B (4:1)



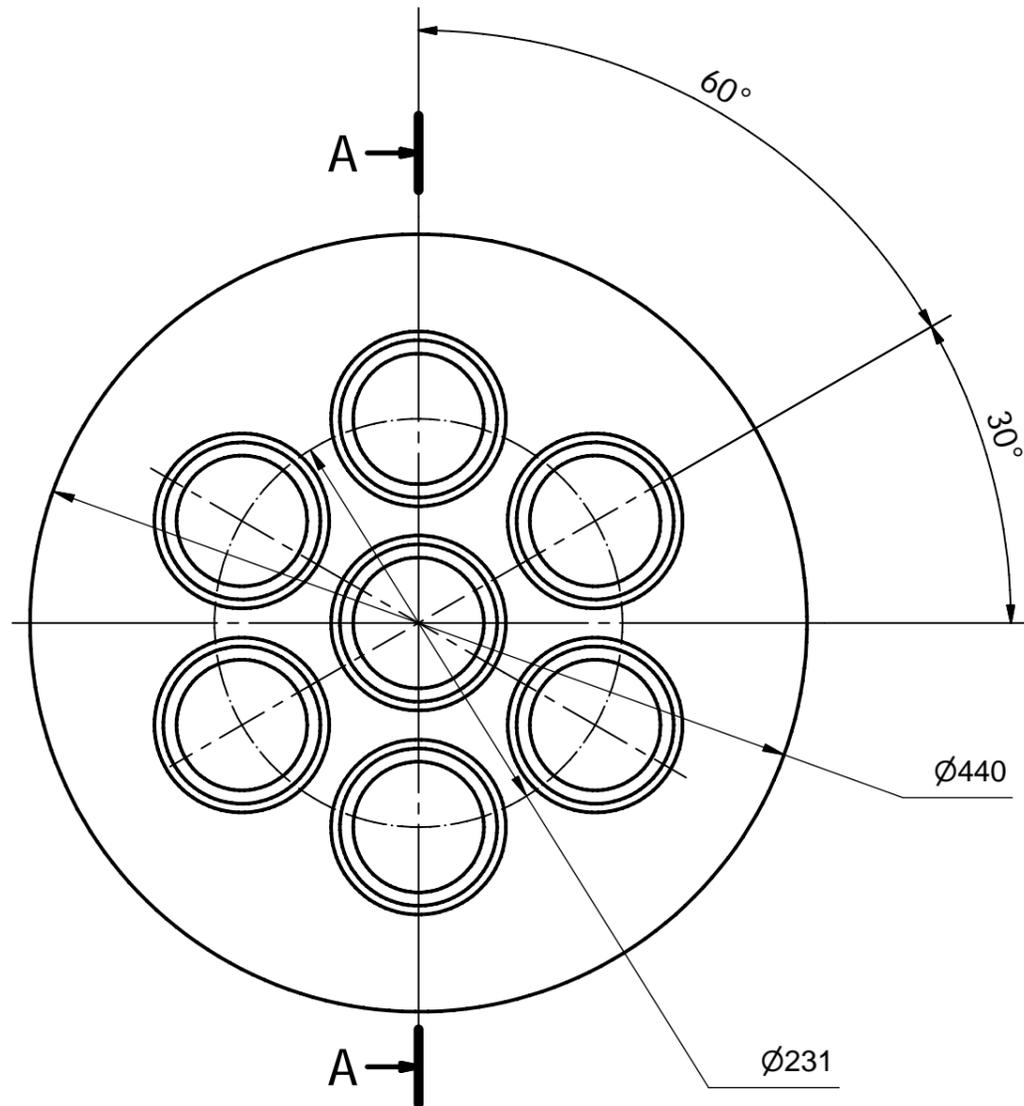
Dettaglio A (4:1)

N° 3+3 distanziali disposti a 120° per centraggio con tubo esterno

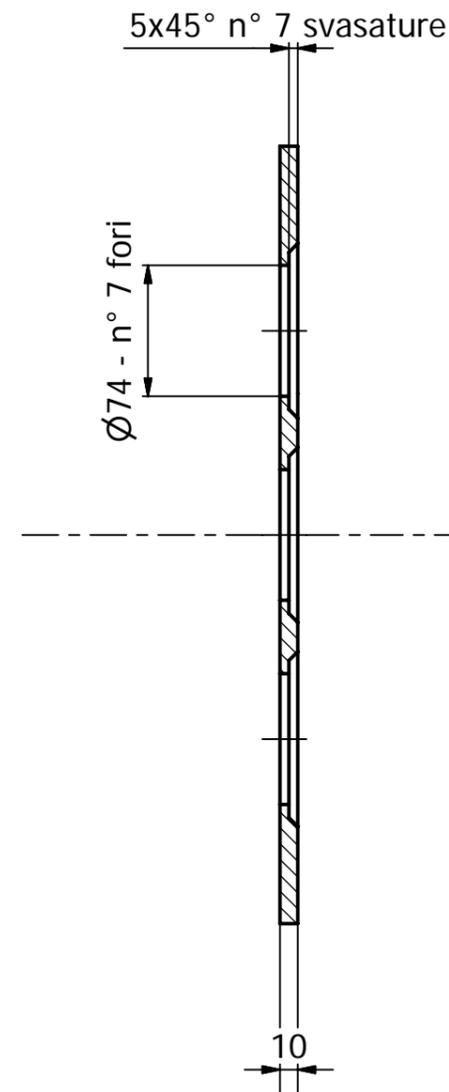
NOTA 1
Le tolleranze dimensionali dei tubi devono rispettare la norma UNI EN ISO 1127:
la classe di tolleranza D4 sul Øest e quella T4 sullo spessore.

Elenco parti				
POS.	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Tubo interno passaggio Piombo	AISI 316L	Tubo 2 1/2", Sch 40 s, L=2360 mm. Per le classi di precisione, vedi NOTA 1
2	6	Distanziale tubi Scambiatore	AISI 316L	Lamiera - misure teoriche 3x2xL=15 mm

ENEA	PROGETTO	SISTEMA	SOTTOSISTEMA
	UTIS-TCI	TITOLO Tubo interno	
DISTRIB. R	VISTA 	SCALA 1:	FORMATO A2
SIGLA DOC. NA-HE-0106		FG/FOGLI 1 / 1	



A-A (1 : 4)



NOTA
 Caratteristiche principali del materiale:
 -Temperatura esercizio 500 °C
 -Resistenza shok termici
 -Alto potere isolante
 -Autoportante
 -Buona lavorabilità
 -Buona resistenza a compressione

Elenco parti				
POS.	QTA	DESCRIZIONE	MATERIALE	NOTE
1	1	Guarnizione isolante	Fibre minerali inorganiche	Può essere ricavata da lastra di cartone silicato spessore 10 mm

	PROGETTO	SISTEMA	SOTTOSISTEMA
	TITOLO Guarnizione isolante		
DISTRIB. R	VISTA 	SCALA 1:	FORMATO A3
SIGLA DOC. NA-HE-0107		FG/FOGLI 1 / 1	