



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



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi di Fattibilità e Costi di Una Nuova Configurazione della Facility SPES-3

M. Rigamonti, C. Congiu



Report RdS/PAR2013/091

Analisi di Fattibilità e Costi di Una Nuova Configurazione della Facility SPES-3

M. Rigamonti, C. Congiu - SIET

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione

Obiettivo: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Responsabile del Progetto: Felice De Rosa, ENEA

Titolo
**Analisi di fattibilità e costi di una nuova
configurazione della facility SPES-3**
Ente emittente SIET

PAGINA DI GUARDIA

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione
Argomenti trattati: Reattori e sistemi innovativi
 Sicurezza Nucleare

Sommario

La facility sperimentale SPES-3 è stata progettata da SIET, in collaborazione con ENEA e CIRTEN, per simulare, dal punto di vista termoidraulico, il funzionamento normale ed in caso di incidente di un generico reattore SMR (Small Modular Reactor). La realizzazione di SPES-3, nei laboratori SIET, è stata ultimata per circa il 50% del progetto originale. Il completamento della facility è al momento sospeso a causa degli elevati costi necessari all'approvvigionamento e al montaggio dei componenti mancanti: rod bundle, canale di potenza, pompe di ricircolo, piping e valvole, strumentazione, sistema di acquisizione dati.

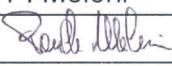
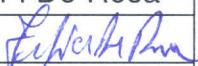
L'utilizzo di componenti già in essere e facenti parte del preesistente impianto SPES-2 è stato proposto da ENEA al fine di limitare gli ingenti costi necessari per la finalizzazione della facility. In particolare si prevede di utilizzare il canale di potenza (limitatamente al riser e al lower plenum) e le pompe di ricircolo. L'ultimo test effettuato su SPES-2 risale al 1999, nonostante SIET abbia nel frattempo effettuato test di verifica e controllo sul canale di potenza, sono comunque necessarie attività di manutenzione straordinaria sui componenti da riutilizzare al fine di ripristinare funzionalità, sicurezza e operabilità degli stessi.

Il documento si prefigge di valutare la fattibilità tecnica di quanto proposto, di verificare i tempi eventualmente necessari alle operazioni e di effettuare un'analisi economica in merito al risparmio derivante da questa operazione rispetto all'utilizzo della configurazione originale.

L'utilizzo delle pompe e del canale di potenza SPES-2 risulta dal punto di vista meccanico tecnicamente fattibile. Qualche riserva emerge dall'analisi dei risultati delle simulazioni termoidrauliche soprattutto per le conseguenze derivanti dall'incremento delle perdite di carico nel riser dovute alla minore area di passaggio del fluido primario nel riser SPES-2 a parità di portata. Si ritiene necessaria un'analisi più dettagliata del fenomeno.

Dal punto di vista economico la soluzione qui prospettata porta ad un risparmio di circa il 35% rispetto a quanto previsto per il completamento secondo il progetto originale. I tempi necessari per il completamento risultano essere del tutto confrontabili.

Note
Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	15/09/2014	NOME	P. Meloni		F. De Rosa
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		CONVALIDA	VISTO	APPROVAZIONE

CLIENTE: <i>client</i> ENEA	COMMESSA: <i>job</i> 111SFVJR40077	PAGINA: <i>page</i> 1 ^{di} of 82
---------------------------------------	--	--

IDENTIFICATIVO: <i>document</i> 02320 RT 14	Classe Ris.: <i>confidentiality</i>	Allegati: <i>enclosures</i>
---	---	---------------------------------------

TITOLO: <i>title</i>	Analisi di fattibilità e costi di una nuova configurazione della facility SPES-3
--------------------------------	---

REDATTORI: <i>prepared by</i>	M. Rigamonti, C. Congiu
---	--------------------------------

LISTA DI DISTRIBUZIONE
distribution list

ENEA
 P. Meloni

 SIET
 A. Achilli
 S. Botti
 G. Cattadori
 C. Congiu
 R. Ferri
 A. Luce
 M. Rigamonti

0	01/09/2014		Emissione	M. Rigamonti <i>M. Rigamonti</i>	G. Cattadori <i>G. Cattadori</i>
REV <i>rev</i>	DATA EMISSIONE <i>issue date</i>	DATA AUTORIZZAZIONE (*) <i>authorization date</i>	DESCRIZIONE <i>description</i>	REDAZIONE <i>prepared by</i>	APPROVAZIONE <i>approved by</i>

(*)	Autorizzazione esterna: <i>External authorization</i>	<input type="checkbox"/> Necessaria / <i>Required</i> <input checked="" type="checkbox"/> Non necessaria / <i>Not required</i>	Organismo esterno: <i>External organization</i>	-	-
-----	--	---	--	---	---

INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
2.	SCOPO	7
3.	DESCRIZIONE DELLE FACILITY	8
3.1.	Facility SPES-2	8
3.2.	Facility SPES-3	11
4.	OPERE NECESSARIE AL COMPLETAMENTO DI SPES-3	14
4.1.	Approvvigionamento del rod bundle	15
4.2.	Canale di potenza.....	15
4.3.	Pompe di ricircolo.....	18
4.4.	Piping e valvole	19
4.5.	Strumentazione e sistema acquisizione dati.....	20
5.	POSSIBILE RIUTILIZZO DI COMPONENTI SPES-2.....	21
5.1.	Canale di potenza.....	21
5.2.	Pompe di ricircolo.....	27
6.	NUOVA CONFIGURAZIONE MISTA DELL'IMPIANTO SPES-3	30
6.1.	Progetto di massima.....	31
7.	MANUTENZIONE DEI COMPONENTI SPES-2	54
7.1	Ripristino del canale di potenza	54
7.1.1	Sostituzione delle guarnizioni in klingerite	55
7.1.2	Verifica del canale di potenza mediante controlli non distruttivi.....	56
7.1.3	Prove con ultrasuoni	57
7.1.4	Analisi strutturale del canale di potenza tramite FEM.....	58
7.2	Manutenzione delle pompe di ricircolo.....	61
7.2.1	Aspetti generali	61
7.2.2	Sostituzione di parti critiche	61
7.2.3	Interventi di pulizia e ripristino	62
7.2.4	Tarature, messa a punto e verifica	62
7.3	Direttiva PED.....	62
7.4	Modifiche alle sbarrature in rame	63
8.	COSTI PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO.....	65
8.1.	Realizzazione ed installazione del canale di potenza.....	65
8.2.	Ripristino del riser del canale di potenza	65
8.3.	Manutenzione delle pompe di ricircolo.....	66

8.4.	Approvvigionamento del downcomer.....	66
8.5.	Approvvigionamento di piping e fittings.....	67
8.6.	Approvvigionamento delle valvole.....	71
8.7.	Montaggio del piping e delle valvole.....	77
8.8.	Approvvigionamento ed installazione strumentazione sistema di acquisizione dati.....	77
8.9.	Riepilogo della valutazione economica.....	78
9.	TEMPI PER IL COMPLETAMENTO DEL PROGETTO.....	79
10.	CONCLUSIONI.....	79
11.	RIFERIMENTI.....	82

LIST OF TABLES

Tab. 1 -	Dati pompe primarie SPES-3.....	18
Tab. 2 -	Caratteristiche principali del vessel SPES-2.....	24
Tab. 3 -	Caratteristiche principali del rod bundle	24
Tab. 4 -	Caratteristiche principali delle pompe SPES-2.....	28
Tab. 5 -	Costi per il ripristino del canale di potenza.....	66
Tab. 6 -	Tubazioni.....	67
Tab. 7 -	Fondi semiellittici.....	68
Tab. 8 -	Flange.....	68
Tab. 9 -	Curve.....	69
Tab. 10 -	Riduzioni concentriche.....	70
Tab. 11 -	Giunzioni a T.....	71
Tab. 12 -	Valvole a sfera ad attuazione pneumatica.....	72
Tab. 13 -	Valvole di sicurezza.....	73
Tab. 14 -	Valvole di ritegno.....	74
Tab. 15 -	Valvole di regolazione.....	75
Tab. 16 -	Valvole manuali a globo.....	76
Tab. 17 -	Strumentazione SPES-3.....	77
Tab. 18 -	Valutazione economica strumentazione e SAD.....	78
Tab. 19 -	Valutazione economica per il completamento di SPES.....	78

LIST OF FIGURES

Fig.1 –	Flow sheet dell'impianto SPES-2.....	9
Fig.2 –	SPES-2, canale di potenza.....	10
Fig.3 –	SPES-3, flow sheet.....	12
Fig.4 –	SPES-3 lay out.....	13
Fig.5 –	Impianto SPES-3 nello stato attuale di avanzamento.....	14

Fig.6– Disegno schematico della barra riscaldante del fascio SPES-3.....	16
Fig.7– Canale di potenza SPES-3	17
Fig.8 – Struttura portante SPES-3	19
Fig.9 – Tratto flangiato del canale di potenza SPES-2	22
Fig.10 – Lower plenum dal canale di potenza SPES-2.....	13
Fig.11 – Barra riscaldata del canale di potenza SPES-2	25
Fig.12 – Fascio di barre SPES-2 con termocoppie.....	26
Fig.13 – Pompa di ricircolo	27
Fig.14 – Pompa di ricircolo	27
Fig.15 – Caratteristica di una pompa di ricircolo.....	29
Fig.16 – SPES-2, canale di potenza	35
Fig.17 – SPES-3, flow sheet.....	36
Fig.18 – SPES-3, flow sheet schematico.....	37
Fig.19 – SPES-3, modifiche al pressure vessel.....	38
Fig.20 – SPES-3, downcomer	39
Fig.21 – SPES-3, linea downcomer-pressure vessel	40
Fig.22 – SPES-3, supporti del downcomer.....	41
Fig.23 – SPES-3, flangia inferiore di attacco riser-GV.....	42
Fig.24 – SPES-3, sistema di distribuzione delle pompe	43
Fig.25 – SPES-3, linea di mandata delle pompe	44
Fig.26– SPES-3, vista frontale da E	45
Fig.27 – SPES-3, vista frontale da N	46
Fig.28– SPES-3, pianta del 2° piano	47
Fig.29– SPES-3, pianta del 3° piano	48
Fig.30 – SPES-3, pianta del 4° piano	49
Fig.31 – SPES-3, pianta del 5° piano	50
Fig.32 – SPES-3, pianta del 6° piano	51
Fig.33 – SPES-3, pianta del 7° piano	52
Fig.34 – SPES-3, pianta del 8° piano	53
Fig.35 – SPES-2 posizioni delle guarnizioni in klingerite nei tratti flangiati.....	55
Fig.36 – Test su guarnizioni in flogopite	56
Fig.37 – Tipo di trasduttore utilizzato nei test	58
Fig.38 – Area sottoposta a verifica con ultrasuoni.....	59
Fig.39 – Dettagli della modellizzazione FEM	60
Fig.40 – Distribuzione di temperatura tipica all’interfaccia di due sezioni flangiate	60
Fig.41 – Sbarratura in rame.....	64
Fig.42 – Programma temporale per l’esecuzione dei lavori necessari al completamento della facility SPES-3 nella nuova configurazione	
Fig.42 – Canale di potenza SPES-3 parte centrale e superiore	81

1. INTRODUZIONE

I reattori di tipo modulare SMR, per le loro caratteristiche di sicurezza intrinseca, facilità di costruzione, trasportabilità e tempi di realizzazione più brevi, hanno attirato l'interesse sia dei Paesi emergenti e in via di sviluppo sia delle grandi potenze industriali. I reattori SMR hanno una potenza molto bassa rispetto a quelli tradizionali (potenza massima 300 MW el.) e sono particolarmente indicati per le aree a bassa densità di popolazione o dove il fabbisogno di elettricità è modesto. La caratteristica modularità del reattore consente però di avviarne la costruzione con costi relativamente bassi e di integrarli successivamente potendo quindi soddisfare anche crescenti o maggiori necessità energetiche.

I reattori SMR, raffreddati ad acqua, sono, nella maggioranza dei casi, di tipo PWR (Pressurized Water Reactor) integrato, ovvero tutti i principali componenti del circuito primario: generatori di vapore, pompe e pressurizzatore sono contenuti all'interno del pressure vessel, per questo si diversificano costruttivamente in modo sostanziale dagli impianti di maggiore taglia sia di seconda sia di terza generazione.

La facility sperimentale SPES-3 (Simulatore Pressurizzato per Esperienze di Sicurezza), progettata e realizzata (solo parzialmente) nei laboratori SIET S.p.A. in collaborazione con ENEA e CIRTEN consiste in una facility sperimentale di assoluto rilievo internazionale per la ricerca, sviluppo e certificazione di sicurezza dei reattori SMR.

SPES-3 è in grado di simulare il funzionamento normale ed in caso di incidente di un generico reattore SMR. SPES-3 è attualmente completata per circa il 50%, essendo stati realizzati/montati:

- progetto esecutivo;
- struttura portante e montacarichi;
- stazione elettrica alta tensione;
- serbatoi per il contenimento;
- piscine e scambiatori per il sistema di rimozione del calore residuo.

Al momento, il completamento della facility è temporaneamente in stand by a causa degli elevati costi necessari all'approvvigionamento dei componenti ancora mancanti.

Al fine di limitare gli ingenti costi necessari per la finalizzazione della facility, ENEA ha proposto una diversa configurazione di SPES-3 che prevede l'utilizzo di componenti già in essere e facenti parte del preesistente impianto SPES-2.

Tale facility è posta in posizione adiacente alla struttura SPES-3 ed è stata utilizzata, in diverse configurazioni, per la verifica sperimentale di impianti PWR di tipo tradizionale. In particolare i risultati ottenuti nella campagna sperimentale svoltasi all'inizio degli anni novanta sono stati utilizzati da Westinghouse per l'ottenimento della licenza di utilizzo del reattore AP600 da parte dell'ente preposto. Nell'attuale configurazione l'ultima campagna sperimentale fu realizzata nel 1999.

Nell'ambito del PAR 2013 (prima annualità) ENEA-CIRTEN hanno effettuato una verifica, tramite codici di calcolo numerici RELAP/TRACE, sulla validità dei risultati ottenuti con una nuova configurazione che preveda l'uso combinato di componenti provenienti dall'esistente facility SPES-2 in unione a componenti SPES-3 come da progetto originale [1]. Tale verifica tra i risultati ottenuti da SPES-3 nella configurazione prevista dal progetto originale e nella nuova configurazione è stata effettuata analizzando un transitorio di Station Blackout ed un incidente di rottura 4" sulla linea EBT (Emergency Boration Tank). Il primo transitorio ha fornito risultati che sicuramente incoraggiano nell'intraprendere la soluzione prospettata, diversamente il transitorio di rottura ha evidenziato notevoli differenze fra i comportamenti nelle due configurazioni.

I componenti SPES-2 utilizzati nella nuova configurazione SPES-3 oggetto della simulazione numerica sono stati: le pompe di ricircolo e la parte inferiore del canale di potenza contenente il fascio di barre.

2. SCOPO

Il presente documento si prefigge il duplice scopo di verificare la fattibilità di una nuova configurazione dell'impianto SPES-3, che utilizzi in parte componenti dell'esistente facility sperimentale SPES-2 e di fornire una valutazione dei costi e dei tempi necessari per le operazioni. In particolare si evidenzia il risparmio economico che si avrebbe usufruendo di questo allestimento in alternativa a quello già progettato per le parti ancora mancanti dell'impianto SPES-3 tenendo conto dei costi di manutenzione straordinaria necessari per il ripristino dei componenti SPES-2 e delle modifiche necessarie per l'utilizzo degli stessi sull'impianto SPES-3

3. DESCRIZIONE DELLE FACILITY

3.1 SPES-2

La facility originale SPES fu commissionata, progettata e costruita tra il 1985 ed il 1987 con lo scopo di simulare la versione italiana PWR-PUN di un reattore Westinghouse 312. SPES disponeva di tre loop primari ed un fattore di scala volumetrico 1/427.

Nel 1992 Westinghouse in collaborazione con ENEL, ENEA, SIET e ANSALDO mise a punto un programma sperimentale per verificare il comportamento, in caso d'incidente, del reattore AP600 al fine di utilizzarne i risultati sperimentali per ottenere la licenza di utilizzo NRC (Nuclear Regulatory Commission) . Le prove sono state condotte sull'impianto sperimentale SPES-2, versione modificata di SPES, che riproduce il reattore Westinghouse AP600 con un fattore di scala volumetrico di 1:395 mentre mantiene le stesse elevazioni e le stesse caratteristiche termoidrauliche del riferimento. La facility simula:

- il circuito primario;
- il circuito secondario fino alle valvole di isolamento;
- tutti i sistemi di sicurezza passivi;
- i "non safety systems".

Il circuito primario (fig. 1) è costituito da due loop ciascuno con una hot leg e due cold leg che si staccano da un'unica pompa di ricircolo con mandata rivolta verso il basso ed aspirazione orizzontale.

Il canale di potenza (fig. 2) è suddiviso in quattro parti: lower plenum, riser (che include il rod bundle), upper plenum (con annular downcomer) e upper head. Il rod bundle è composto da 97 barre cilindriche riscaldate elettricamente aventi la stessa geometria e la stessa lunghezza attiva del reattore di riferimento. Esso è inserito in una sezione ottagonale composta da undici tratti flangiati isolati termicamente ed elettricamente l'uno dall'altro.

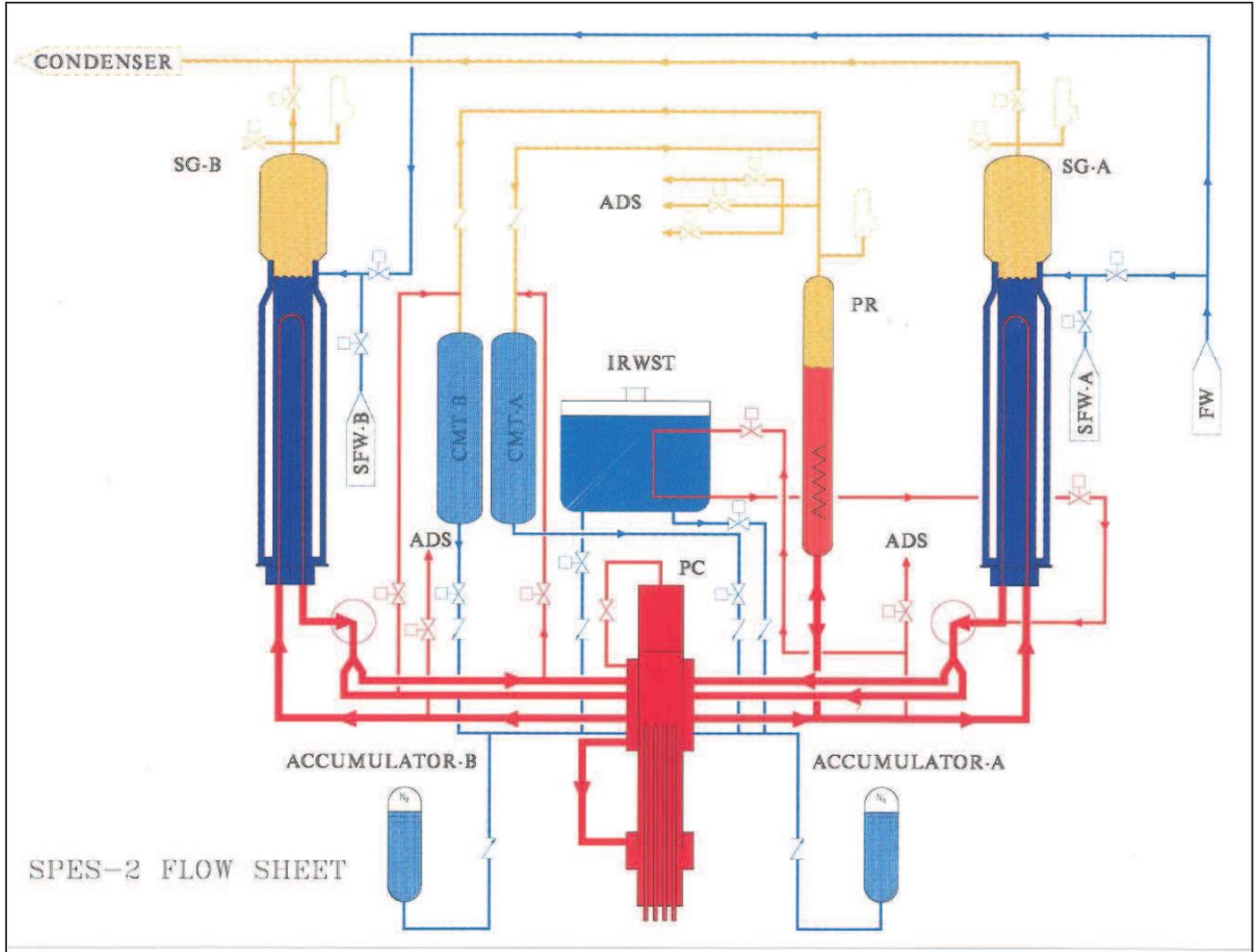


Figura 1 - Flow sheet dell'impianto SPES-2

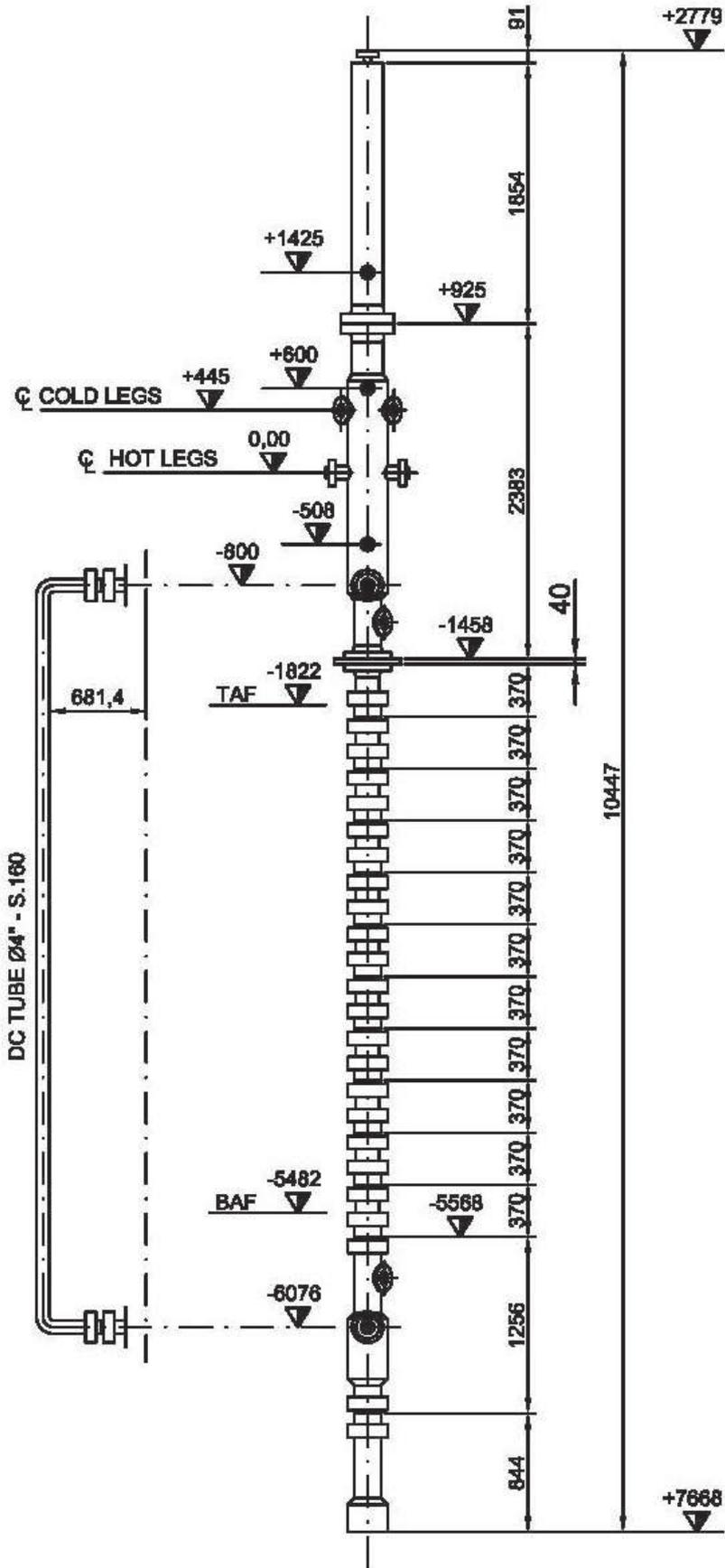


Figura 2 - SPES-2, canale di potenza

3.2 SPES-3

L'impianto sperimentale SPES-3 riproduce in scala un reattore SMR da 1000 MW-th. L'impianto è stato progettato a piena scala in elevazione (altezza circa 30 m) e con un fattore volumetrico di scala 1:100. Sono stati mantenuti i seguenti parametri: i rapporti potenza su portata massica di fluido e potenza su volume (nei limiti imposti dalla potenza disponibile), il tempo di transito dei fluidi, i flussi termici medi ed, infine, le condizioni termodinamiche del fluido (pressione, temperatura, entalpia). SPES-3 simula il sistema primario, il sistema secondario fino alla valvola di isolamento delle linee principali del vapore, il sistema di contenimento (Dry Well, Quench Tanks, Reactor Cavity, Pressure Suppression System), i sistemi di sicurezza (Emergency Heat Removal System con le piscine Refueling Water Storage Tank, Emergency Boration Tank, Automatic Depressurization System, Long-term Gravity Make-up System e Direct Vessel Injection) e i "non-safety systems" (acqua alimento generatori, linee vapore, ausiliari).

I parametri di progetto sono:

- Potenza massima al canale riscaldato: 6.5 MW
- Pressione / Temperatura del sistema primario: 172.5 bar / 353 °C
- Pressione / Temperatura del sistema secondario: 172.5 bar / 353 °C
- Pressione / Temperatura dei componenti del contenimento: 15 bar / 198 °C

L'impianto è dotato di un sistema di acquisizione dati per la registrazione ed elaborazione dei segnali provenienti dalla strumentazione di processo e di prova, oltre ad un sistema automatico di regolazione/controllo appositamente progettato. Il numero di strumenti previsto è superiore a 600.

Nelle figure 3 e 4 sono riportati, rispettivamente, lo schema di flusso semplificato ed il lay-out dell'impianto. Per tutte le informazioni e dati di dettaglio si rimanda ai documenti di riferimento [2], [3].

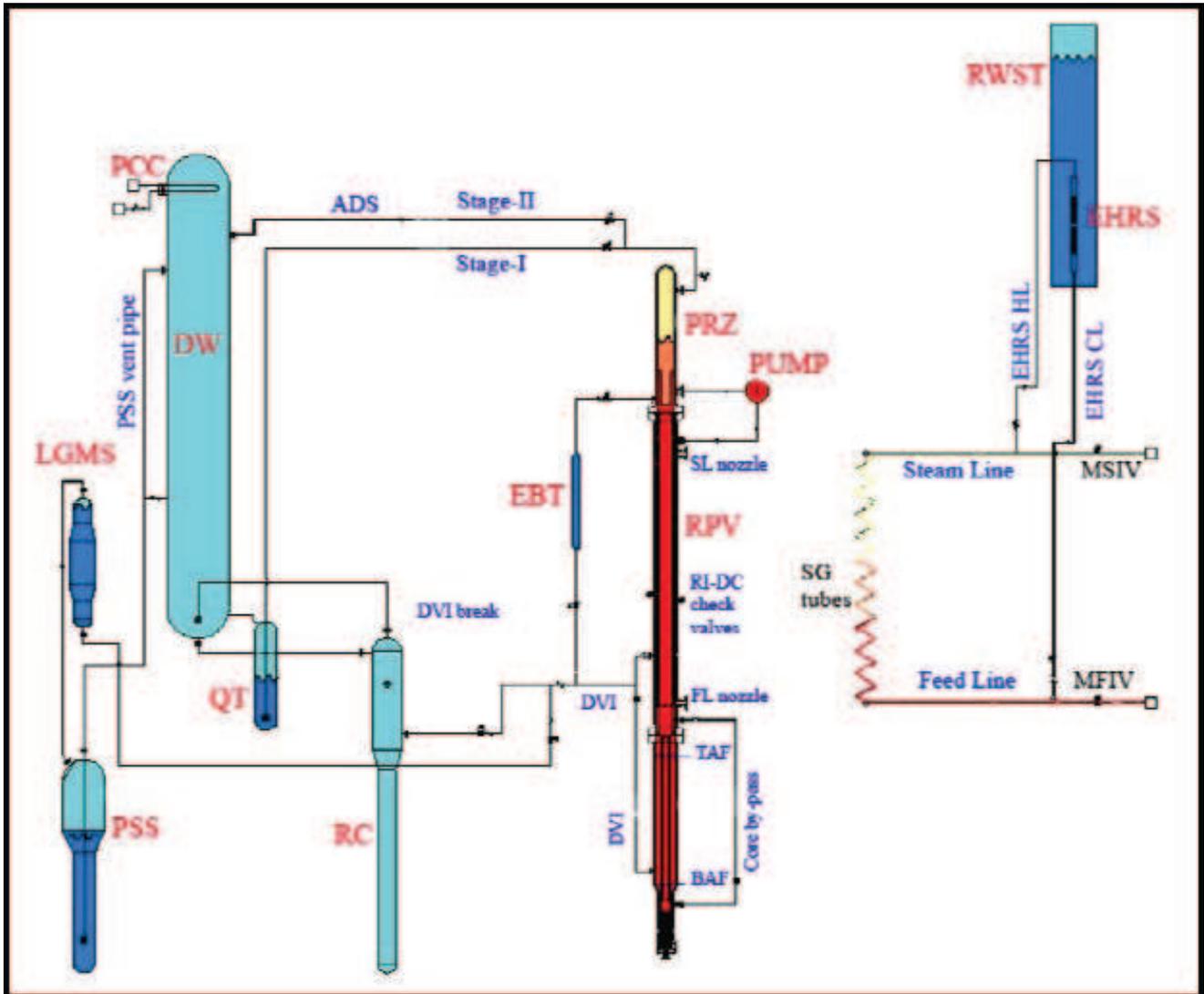


Figura 3 – SPES 3, simplified flow diagram

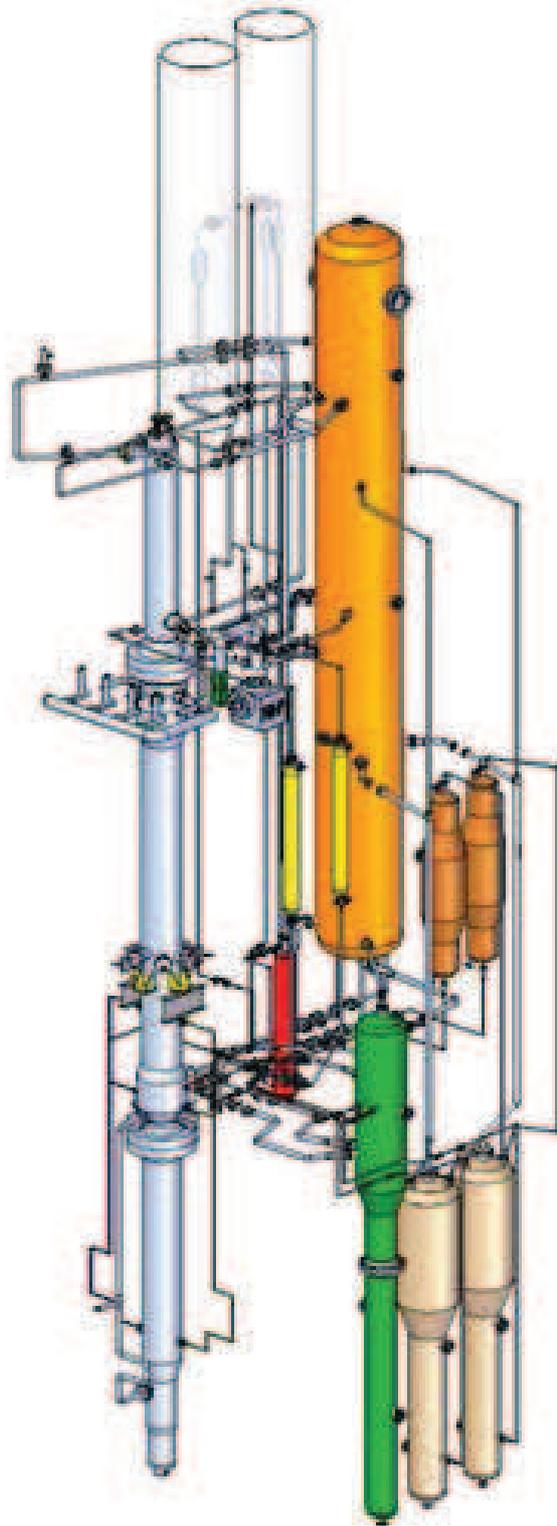


Figura 4 - SPES 3, lay-out

4. OPERE NECESSARIE AL COMPLETAMENTO DI SPES-3

La progettazione esecutiva dell'impianto SPES-3 con tutti i suoi componenti è stata ultimata. Per quanto riguarda la costruzione della facility essa è stata completata solo parzialmente, circa al 50%, in particolare a tutt'oggi risultano completati ed installati (fig. 5):

1. struttura comprendente ascensore e carroponete;
2. componenti del contenimento;
3. Emergency Heat Removal System (EHRS);
4. Emergency Boration Tank (EBT);
5. stazione elettrica AT comprendente: trasformatore 130/3 kV, interruttori 130 kV e 3 kV;
6. PLC (Programmable Logic Controller)

I gruppi di potenza elettrici da 4 MW e 8 MW per il riscaldamento delle barre del canale di potenza sono stati oggetto di manutenzione straordinaria. Sono state inoltre effettuate prove per la qualificazione di prototipi di barre riscaldanti e di sviluppo di strumentazione speciale per la misura di parametri dei fluidi bifase. Le principali attività necessarie al completamento della facility, secondo il progetto esecutivo originale, sono elencate nei paragrafi successivi.



Figura 5 – Impianto SPES-3 nello stato attuale di avanzamento

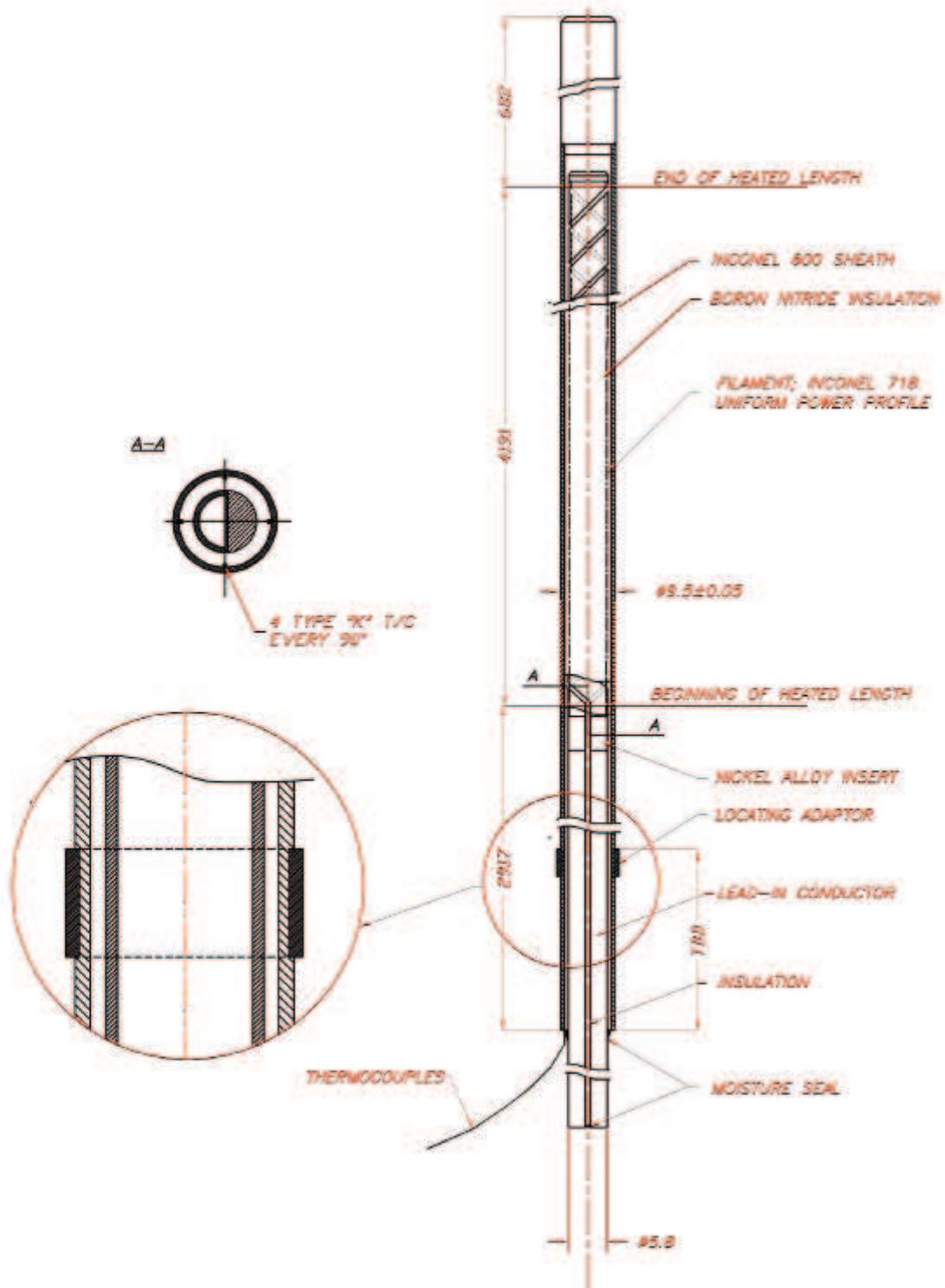
4.1 Rod bundle

Nella figura 6 è rappresentato un disegno schematico della barra riscaldante del fascio SPES-3. Il fascio di barre riscaldate è costituito da n. 235 barre per una potenza totale di 6500 kW, di queste 233 sono a potenza standard, mentre n. 2 dispongono di una extra potenza pari al 20% per tener conto del profilo radiale di flusso termico del reattore di riferimento. La strumentazione del fascio consiste in n. 120 termocoppie dislocate su n. 30 barre (n. 4 termocoppie per barra) per la misura della temperatura di parete interna delle barre

Il combustibile nucleare del reattore di riferimento, nell'impianto SPES-3, è simulato da un fascio di barre in Inconel avente le stesse caratteristiche geometriche (diametro, passo, lunghezza) di quello del reattore. Tale fascio viene riscaldato per effetto Joule da resistenze elettriche poste all'interno della barra.

4.2 Canale di potenza

Il progetto originale SPES-3 prevede un pressure vessel in acciaio inossidabile che si sviluppa per circa 23 m con diametro di 0,76 m (fig. 7) ed una massa totale di circa 40.000 kg (esclusi gli internals) . Il canale di potenza SPES-3 include, come quello di riferimento, tutti i principali componenti del circuito primario. Esso è costituito da tre parti flangiate l'una all'altra contenenti rispettivamente: il fascio di barre, i generatori di vapore, il pressurizzatore. Per tutte le informazioni e dati di dettaglio si rimanda ai documenti di riferimento [4], [5], [6], [7], [8], [9].



1. All dimensions in millimeters
2. Not to scale

Figura 6 - Disegno schematico della barra riscaldante del fascio SPES-3

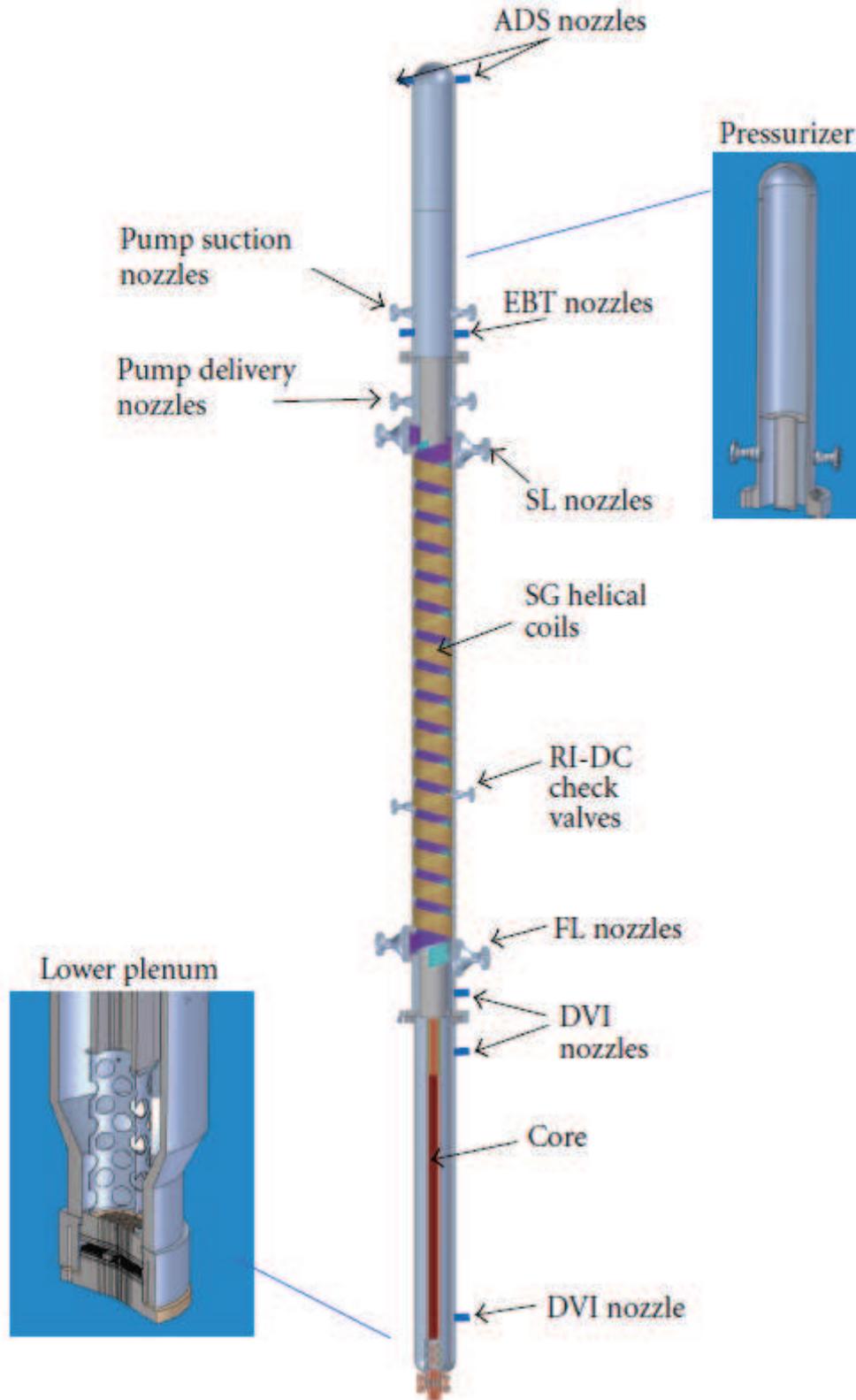


Figura 7 – Canale di potenza SPES-3

4.3 Pompe di ricircolo

Le pompe primarie del reattore di riferimento sono installate all'interno del Pressure Vessel. Esse sono complessivamente otto, una per ciascuno dei generatori di vapore, e si trovano al di sopra del fascio elicoidale dei medesimi.

Nella facility SPES-3 non è possibile allocare le pompe all'interno del Canale Centrale per la limitata disponibilità di spazi imposta dal fattore volumetrico di scala (1:100).

Il progetto della facility SPES-3 prevede un numero inferiore di pompe (due), poste in serie, che garantiscono, complessivamente, una portata pari alla portata delle otto pompe (scalata di un fattore 100) e pari prevalenza. Queste pompe sono installate all'esterno del Canale Centrale all'altezza della corrispondente zona di interfaccia tra vessel dei generatori vapore e vessel del pressurizzatore. Un sistema di piping corredato da valvole garantisce un'adeguata simulazione dei flussi di acqua tra ingresso e uscita dei generatori di vapore.

Le pompe in oggetto sono a flusso assiale caratterizzate da un elevato rapporto portata/prevalenza. Esse devono funzionare con fluido ad elevate temperature (~ 330 °C) ed elevate pressioni in aspirazione (~ 155 bar). Le caratteristiche principali sono riportate in tab. 1

Fluido di processo	Acqua
Prevalenza	12,2 m
Portata volumetrica	75,7 l/s
Temperatura di esercizio	328 °C
Pressione in aspirazione	15,5 MPa
NPSH disponibile	46 m
NPSH richiesto	6,9 m
Rendimento	77 %
Connessione in aspirazione	Flangiata 8" 2500# RF
Connessione in mandata	Flangiata 8" 2500# RF
Motore elettrico	380 V, trifase, 50 Hz
Velocità di rotazione	1440 RPM
Potenza	7.44 kW

Tabella 1 - Dati pompa primaria SPES-3



Fig. 8 - Struttura portante SPES-3

4.4 Piping e valvole

Il progetto SPES-3 prevede tubazioni, tutte in acciaio inox con diametri variabili da 3/8" a 5", che collegano il canale di potenza con i vari serbatoi del contenimento e che provengono dai circuiti ausiliari e d'emergenza. Oltre ai tratti rettilinei sarà necessario reperire: fondi semiellittici, flange, curve, riduzioni concentriche, giunzioni a T. Sull'impianto SPES-3 è prevista inoltre l'installazione di n. 136 valvole, tra queste: valvole di intercettazione a sfera, di sicurezza, di ritegno, di regolazione e manuali a globo. Per tutte le informazioni e dati di dettaglio si rimanda ai documenti di riferimento [11], [12], [13].

4.5 Strumentazione e sistema acquisizione dati

La strumentazione per il rilievo delle grandezze fisiche caratteristiche dell'impianto è di fondamentale importanza per la validità scientifica dei dati derivanti dai test sperimentali previsti sulla facility. A questo proposito, il progetto richiede la misurazione di circa 600 grandezze fisiche. Per la registrazione ed elaborazione dei segnali della strumentazione è altresì necessario l'approvvigionamento di un idoneo sistema di acquisizione e elaborazione dati. Per maggiori informazioni sulla strumentazione prevista su SPES-3 vedi [12], [13].

5. POSSIBILE RIUTILIZZO DI COMPONENTI SPES-2

ENEA e SIET hanno preso in considerazione l'ipotesi di utilizzare, per il completamento della facility SPES-3, alcuni componenti dell'impianto SPES-2 al fine di un possibile risparmio economico sui costi necessari alle operazioni. Dopo attenta analisi si è considerato che i seguenti componenti possono essere presi in considerazione per essere inseriti nella facility da ultimare.

5.1 Canale di potenza

Riguardo a questo componente è stato valutato l'utilizzo del tratto del canale di potenza contenente il fascio di barre riscaldato, denominato riser (fig. 9) inclusa la zona inferiore denominata lower plenum (fig. 10). Nel tratto considerato sono compresi i sistemi di collegamento inferiore e superiore alla sbarratura di potenza che rimarranno pressoché invariati. Le parti superiori del vessel SPES-3 contenenti i generatori di vapore ed il pressurizzatore rimarranno come da progetto originale. In tabella 2 sono elencate le caratteristiche principali del tratto di pressure vessel utilizzato.

Le caratteristiche principali del rod bundle dell'impianto SPES-2 (figg. 11, 12) sono riassunte in Tab. 3. Le barre sono avvitate all'estremo superiore ad una piastra che funge anche da presa di potenza e sono tenute in posizione da n. 11 griglie metalliche. Il profilo assiale di potenza è uniforme per tutte le barre mentre radialmente sono presenti due barre più calde di un fattore 1.19. Originariamente n. 20 barre erano strumentate con termocoppie (tipo K) brasate internamente in posizioni diverse lungo l'asse della barra stessa. Attualmente sono presenti una decina di termocoppie residue.

La potenza massima raggiungibile dal canale di potenza è 6,5 MW pari al 65% della potenza nominale scalata del reattore di riferimento (10 MW nel progetto originale).



Figura 9 – Tratto flangiato del canale di potenza SPES-2

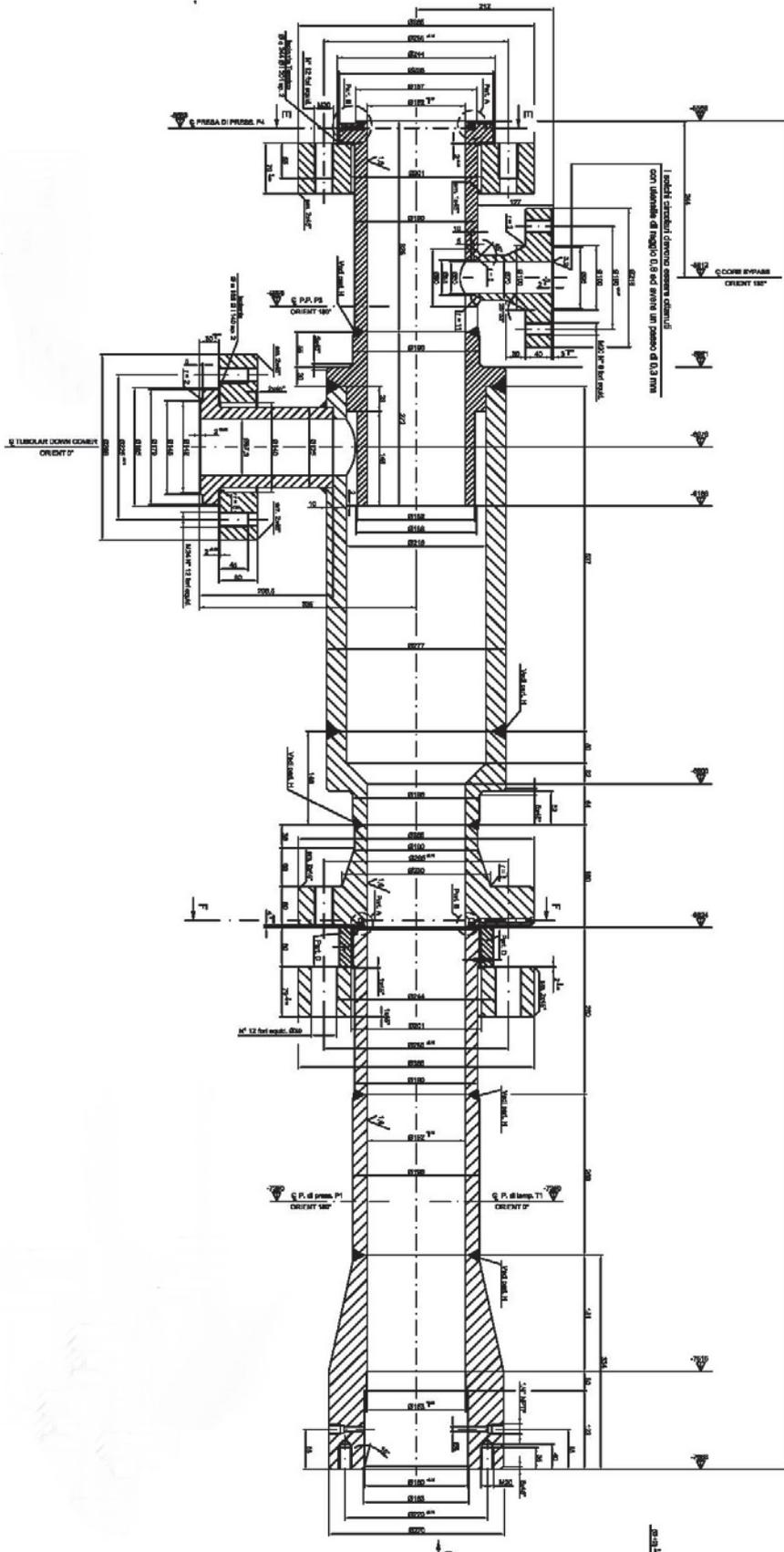


Figura 10 - Lower plenum del canale di potenza SPES-2

Tab. 2 – Caratteristiche principali vessel SPES-2 (tratti utilizzati)

	Riser	Lower plenum	
lunghezza (mm)	4710	1500	
diametro (mm)	141*/152	152/216	* sez. ottagonale
volume (dm ³)	79	32	
volume fluido (dm ³)	46	23	
massa totale (kg)	284	1770	

Tab. 3 – Caratteristiche principali del rod bundle SPES-2

NUMERO DI BARRE
totale: 97
standard: 95
calde: 2
PRESSIONE E TEMPERATURA DI PROGETTO [MPa/°C]
standard: 20 / 450 - 16 / 650
calde: 20 / 500 - 16 / 700
DIAMETRO ESTERNO/INTERNO [mm]
standard: 9.5 / 7.9
calde: 9.5 / 7.9
ALTEZZA [mm]
totale: 6467
interna al vessel: 6220
tratto riscaldato: 3663
POTENZA [kW]
nominale: 4894
massima: 9000
MATERIALE
0 - 130 mm - rame
130 - 2424 mm - acciaio AISI 316
2424 - 6087 mm - inconel 600
6087 - 6467 mm - nichel 200
RETICOLO
quadrato
PASSO
12 mm
CORRENTE MASSIMA
70 kA



Figura 12 – Fascio di barre SPES-2 con termocoppie

5.2 Pompe di ricircolo

Le pompe sono di tipo centrifugo a singolo stadio orizzontale e sono alimentate da motore elettrico a corrente continua . La linea di aspirazione è orizzontale mentre quella di mandata è diretta verso il basso (fig. 13, 14). La portata elaborata dalle pompe è convogliata all'interno di un tubo da 3". La velocità di rotazione può essere controllata in un intervallo di +/- 190% del valore nominale e la variazione di velocità può essere programmata. Le pompe sono connesse ad un sistema comune di lubrificazione e flussaggio delle tenute. Le caratteristiche principali di ciascuna pompa sono riassunte nella Tab. 4. Le curve caratteristiche sono mostrate in fig. 12.



Figura 13 – Pompa di ricircolo



Figura 14 – Pompa di ricircolo

Tab. 4 – Caratteristiche principali delle pompe di SPES-2.

PRESSIONE [MPa]
progetto: 20
TEMPERATURA [°C]
progetto: 365
CONDIZIONI NOMINALI
pressione di aspirazione: 15.3 MPa
temperatura: 276 °c
portata elaborata: 12.6 kg/s
potenza: 20 kW
efficienza: 52 %
npshr: 2.6 m
PESO [kg]
totale: 620
motore: 280
corpo: 1150
SISTEMI DI TENUTA
fluido: acqua
portata: 0.083 kg/s
pressione di aspirazione: 16.3 MPa
DP TENUTA [MPa]
interna: 0.5
intermedia: 14.3
esterna: 1.5
INTERVALLO CONTROLLO VELOCITA' [rad/s]
-628 / 628
POTENZA MASSIMA [kW]
50
VOLUME FLUIDO [dm³]
4.3
INERZIA TOTALE [kgm²]
3.5

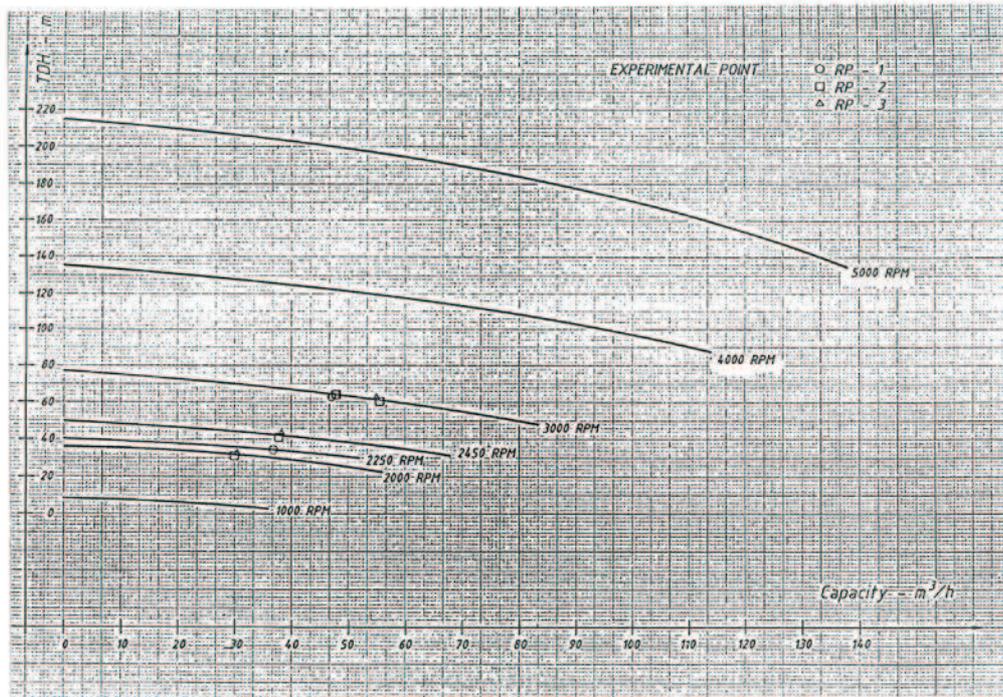


Fig. 15 - Caratteristica di una pompa di ricircolo SPES-2

6. NUOVA CONFIGURAZIONE MISTA DELL'IMPIANTO SPES-3

Come già evidenziato in precedenza, l'ultimazione dell'impianto SPES-3 richiede, tra gli altri, l'approvvigionamento ed il conseguente montaggio del canale di potenza (riser, generatore di vapore, pressurizzatore) e della pompa di ricircolo. Al fine di operare un risparmio sui costi inizialmente previsti, si è pensato di non procedere all'acquisto del riser del canale di potenza e delle pompe di ricircolo, come previsto dal progetto originale, bensì di utilizzare quelli esistenti sull'adiacente impianto SPES-2. Per garantire la significatività dei transitori sperimentali progettati per il reattore di riferimento è necessario preservare il più possibile inalterato il comportamento termoidraulico dell'impianto rispetto a quello della configurazione originaria. A questo proposito ENEA ha condotto una campagna di studi utilizzando il codice di calcolo RELAP5 con lo scopo primario di verificare la fattibilità di una configurazione alternativa al progetto originale SPES-3 che preveda l'utilizzo delle pompe di ricircolo e di parte del canale di potenza già utilizzati sull'impianto SPES-2.

Sono stati simulati sulla configurazione alternativa SPES-2/SPES-3 due transitori incidentali (Station Black Out e rottura 4" sulla linea EBT), già analizzati nella configurazione originale della facility.

L'analisi del transitorio Station Black Out ha fornito risultati simili alla precedente analisi su SPES-3 e ha mostrato che la nuova configurazione è efficace nella simulazione della rimozione del calore di decadimento attraverso EHRS (Emergency Heat Removal System). La rottura sulla linea EBT ha evidenziato invece alcuni scostamenti tra il comportamento della facility nella nuova versione rispetto a quella originale in particolare in modalità di circolazione naturale.

Il maggior risparmio economico si otterrebbe utilizzando in toto il canale di potenza SPES-2 unitamente ai generatori di vapore esistenti. L'idea di utilizzare l'intero canale di potenza esistente e di sostituire lo scambiatore a tubi elicoidali interno al vessel con un sistema esterno a tubi dritti con scambio in controcorrente è stata però ben presto abbandonata in quanto non si sarebbe raggiunto il grado di surriscaldamento, sul circuito secondario, caratteristico della tipologia di

reattore che SPES-3 intende simulare. In definitiva si ipotizza di mantenere il vessel progettato originariamente nella sua parte intermedia e superiore (generatori di vapore e pressurizzatore) connettendo ad esso la parte inferiore del canale di potenza SPES-2 contenente il fascio di barre riscaldate, parte di colore nero in fig. 16.

In luogo della soluzione originaria con due pompe in serie si prevede l'inserimento di entrambe le pompe SPES-2 che scaricheranno in parallelo nel sistema di distribuzione progettato per SPES-3. Nella configurazione originale la portata richiesta, al 100% della potenza nominale scalata, era di circa 240 m³/h con prevalenza di 15 m mentre con potenza ridotta al 65% essa scende a circa 155 m³/h con prevalenza di circa 7 m. Da quanto si evince dalla fig. 15, per far fronte alla prevalenza richiesta dal circuito, la configurazione in parallelo delle due pompe SPES-2 richiederà l'utilizzo contemporaneo di entrambe le pompe ad un numero di giri relativamente basso. In alternativa si potrebbe prevedere l'utilizzo di una sola pompa funzionante ad un regime più elevato (circa 3700 RPM). Entrambe queste configurazioni risultano al momento plausibili anche se la prevalenza necessaria per vincere le resistenze del circuito subirà un notevole incremento in seguito al restringimento dell'area di passaggio nel riser. La nuova prevalenza richiesta è stata valutata in 25-30 m. Si ritiene comunque indispensabile una verifica dell'incremento delle perdite di carico all'interno del riser SPES-2 per poter meglio valutare la configurazione più idonea del sistema.

Al fine di poter valutare la fattibilità tecnica del nuovo progetto ed effettuare una stima dei costi e dei tempi necessari alla realizzazione è stato effettuato un progetto di massima della facility che viene descritto nel seguito.

6.1 Progetto di massima

Il flow sheet dell'impianto SPES-3 nella nuova configurazione che prevede l'utilizzo del riser e delle pompe di ricircolo SPES-2 è riportato in fig. 17 dove vengono evidenziati i nuovi componenti e le linee ad esse associati. Un diagramma semplificato del sistema (nuovi componenti a colori) è descritto in fig. 18

Il criterio principale per il progetto delle modifiche è stato quello di mantenere, il più possibile invariato, il comportamento termoidraulico del sistema soprattutto in condizioni di circolazione naturale. Affinchè in condizioni di transitorio incidentale la quota di scoprimo barre, con conseguente eventuale innesco della crisi termica, sia conservata anche nella nuova configurazione, si è deciso di mantenere inalterata la quota del TAF (Top of Active Fuel). La parte attiva delle barre del canale di potenza SPES-2 ha una lunghezza inferiore a quelle dello SPES-3 (3.663 / 4.191 m). Conseguentemente il BAF (Bottom of Active Fuel) si troverà ad una quota più elevata rispetto a quella dello SPES-3 senza per altro conseguenze di rilievo dal punto di vista termoidraulico. La potenza massima prevista dal progetto originale (6,5 MW) rimarrà inalterata anche se il numero di barre totale è inferiore a quello previsto in origine (97 / 235) in quanto la potenza specifica è più elevata nella barra riscaldata SPES-2 rispetto a quella SPES-3.

In fig. 19 sono riportati il canale di potenza, il downcomer e le tubazioni associate. Il canale di potenza consiste di tre parti principali accoppiate per mezzo di flange. La parte inferiore (in verde), proveniente in toto dallo SPES-2, contiene, all'interno del tratto composto da undici sezione flangiate fra di loro, la zona attiva del fascio di barre riscaldate. Esso comprende inoltre il lower plenum col sistema di tenuta che consente alla barre di fuoriuscire verso il basso e di connettersi alla sbarratura inferiore in rame proveniente dai gruppi di potenza.

La parte intermedia del canale di potenza contiene, come da progetto originale, i simulatori del CRDM (Control Rod Driven Mechanism) e i tre generatori di vapore con le quattro schiere di tubi elicoidali avvolti attorno al riser cilindrico. Un involucro metallico (barrel) separa la schiera più interna da quella intermedia mentre un secondo barrel separa quella intermedia dalla due file più esterne.

La parte superiore del canale di potenza, anch'essa invariata, contiene il pressurizzatore.

Un parametro fondamentale per garantire condizioni termoidrauliche simili nelle due configurazioni è il mantenimento della massa di refrigerante primario e della sua distribuzione in quota al fine di garantire una più simile evoluzione dei transitori incidentali. Per far questo, il minor volume di refrigerante primario derivante dalle diverse dimensioni del riser ($\sim 1,3 \text{ m}^3$) è compensato nel

downcomer posto a fianco del canale di potenza (fig. 20). Il downcomer tubolare che, nell'impianto SPES-2, connetteva le cold legs al canale di potenza, è stato quindi completamente riprogettato per far fronte a questa compensazione e sostituito dal serbatoio descritto in figura. La linea che connette la parte inferiore del downcomer al lower plenum del canale di potenza è descritta in fig. 21. Data la ridotta distanza fra i due componenti la particolare conformazione ad U delle linea stessa evita l'introduzione di dispositivi quali dilatatori o soffiotti di difficile reperibilità e costi elevati. Il downcomer è sostenuto da una trave in acciaio al 5° piano della struttura tramite un tirante a molla ancorato al dispositivo di sostegno descritto in fig. 22. Il canale SPES-2 è connesso alla parte superiore tramite un accoppiamento flangiato. La flangia superiore è rimasta praticamente inalterata rispetto al progetto originale mentre quella inferiore è stata completamente modificata per permettere l'accoppiamento con la piastra di sostegno a cui sono filettate le barre riscaldate del canale di potenza. Il particolare della flangia inferiore è riportato in fig. 23.

Rispetto alla configurazione di SPES-2 è necessario ripristinare la linea di core-bypass già prevista in SPES-3, fig. 19 . Nonostante la geometria sia stata necessariamente modificata per utilizzare il bocchello inferiore presente sul lower plenum del canale SPES-2, si è deciso di mantenere lo stesso diametro originale di 2" consentendo così, tra l'altro, di utilizzare senza riduzioni il bocchello già previsto nella parte superiore del canale di potenza. Oltre che nel funzionamento in condizioni nominali, la linea di core bypass si rivela estremamente importante in fase di circolazione naturale. Infatti in queste condizioni la minor area di passaggio all'interno del riser SPES-2, e quindi le maggiori perdite di carico rispetto alla configurazione originale, provocano un'inevitabile diminuzione della portata rispetto a SPES-3. Ciò provoca una diminuzione dello scambio termico e un conseguente innalzamento della temperatura del fluido che nella parte alta del fascio tubiero può raggiungere titoli di vapore tali da far innescare il fenomeno della crisi termica in tempi anticipati rispetto a quanto previsto in SPES-3. L'ottimizzazione del flusso lungo il core-bypass, per mezzo dell'apposita valvola, permette di raggiungere all'uscita del riser una temperatura di fluido primario più vicina a quella di SPES-3. La conseguente diminuzione delle perdite di carico all'interno del riser infatti mitiga le conseguenze di

quanto prima descritto ma non può evitare il raggiungimento anticipato di condizioni critiche di scambio termico nella parte alta del riser. Questo fenomeno rimane quindi un punto critico da valutare attentamente attraverso appropriate simulazioni con codici di calcolo per un completa verifica della rappresentatività del nuovo progetto.

Le pompe di ricircolo SPES-2, poste in parallelo, sostituiranno le pompe previste nell'impianto SPES-3 originario e saranno mantenute nella loro attuale posizione al 5° piano della Centrale Emilia. Il sistema di distribuzione (fig. 24) rimarrà pressoché invariato mentre sarà necessario prevedere una tubazione di mandata (fig. 25) e una linea d'aspirazione che colleghi le pompe dalla loro collocazione al sistema stesso. Le due linee di mandata in uscita dalla parte inferiore delle pompe confluiscono in un collettore da 5" che corre in verticale fino alla parte superiore del canale di potenza dove si connette al sistema di distribuzione. Allo stesso modo si sviluppa la tubazione in ingresso alle pompe. Il sistema di distribuzione dell'impianto SPES-3 prevede un collettore di mandata (quota + 16.498 m) che si suddivide in quattro diverse linee che entrano nel canale di potenza fino a raggiungere il riser e lambire le barre riscaldate asportandone il calore che poi verrà rilasciato, lato mantello, all'interno dei generatori di vapore. Un'unica tubazione fuoriesce da un bocchello (quota + 18.132 m) e si connette alla linea di aspirazione della pompa. Una linea di bypass dotata di check valve, normalmente chiusa, collega il collettore al tratto in uscita dal vessel permettendo, a pompe ferme, che il fluido primario passi direttamente da un all'altra senza transitare attraverso le pompe e le linee di aspirazione e mandata. Nelle figg. 26, 27 sono riportate le viste frontali da E e N dell'impianto. Da queste figure è possibile rilevare la posizione, in elevazione, delle pompe di ricircolo SPES-2 in riferimento ai componenti SPES-3 ed in particolare al sistema di distribuzione.

Le figg. 28~34 riportano le piante dei piani della struttura interessati dalle modifiche in programma.

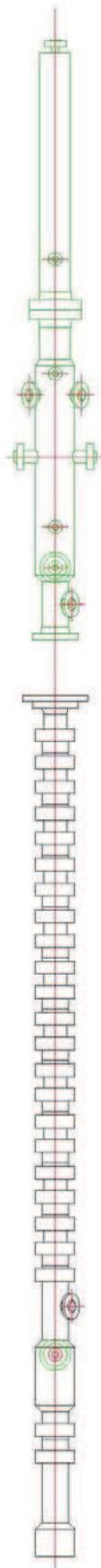


Fig. 16 – Canale di potenza SPES-2

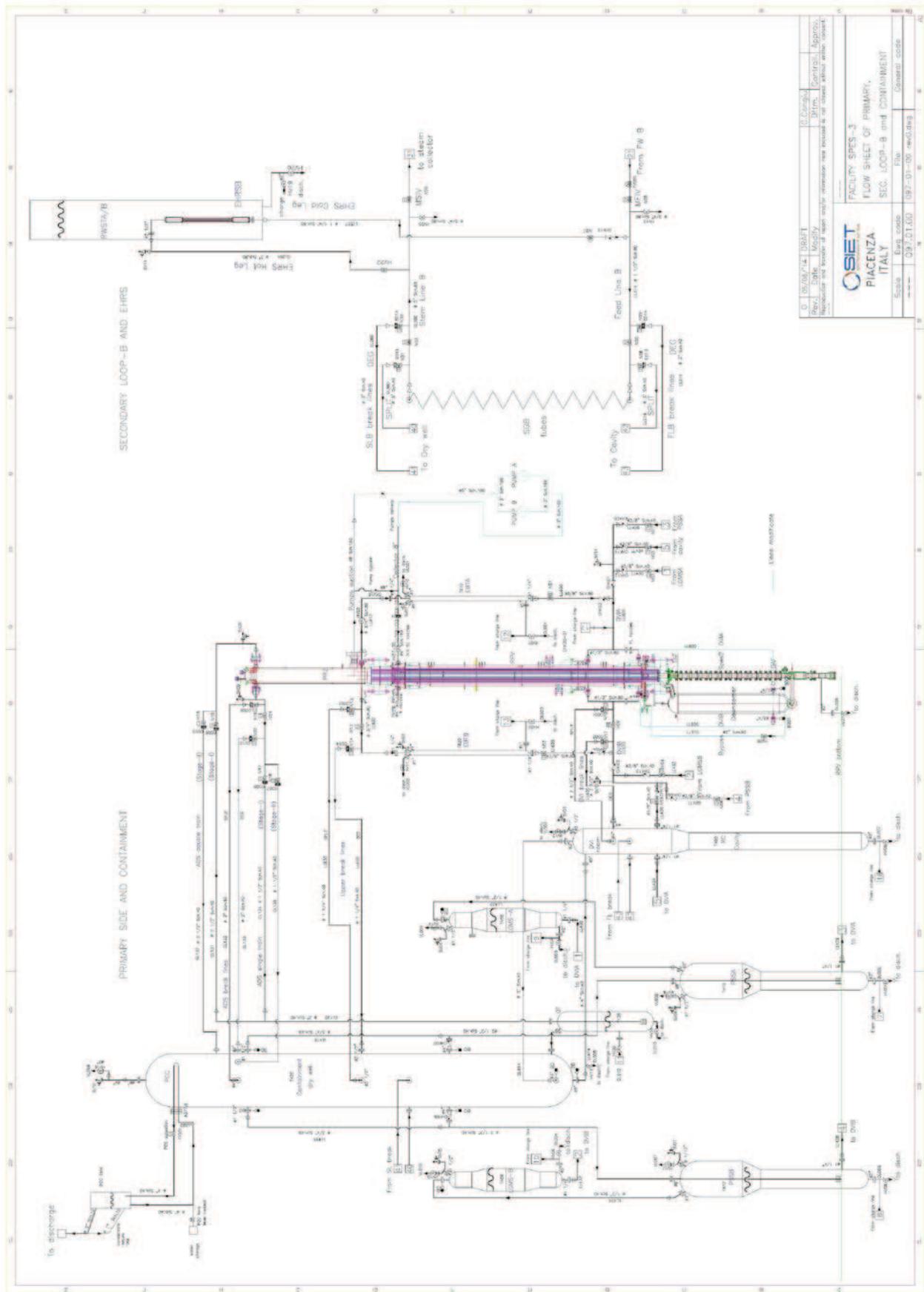


Fig. 17 – SPES-3, flow sheet dell'impianto SPES

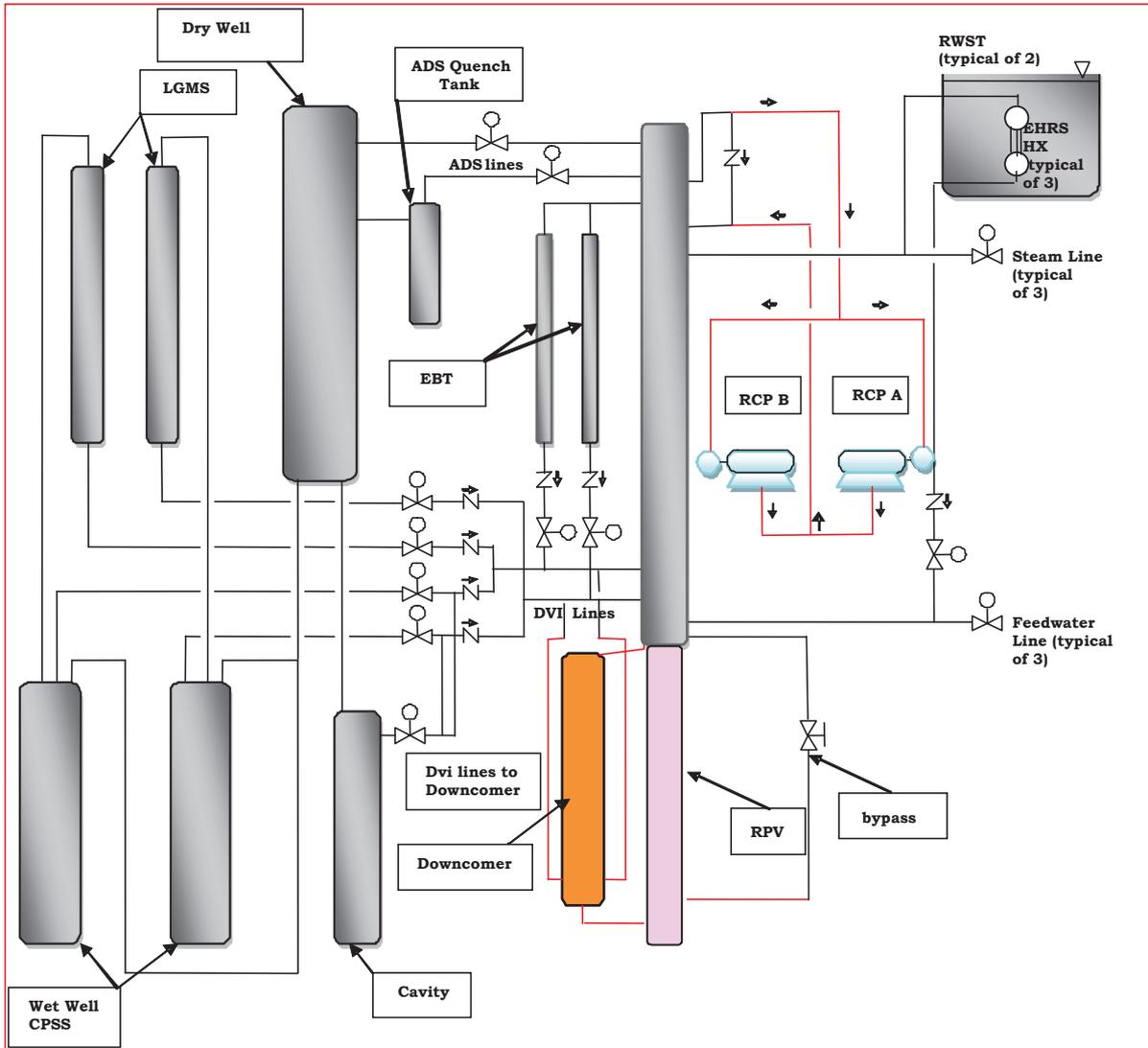
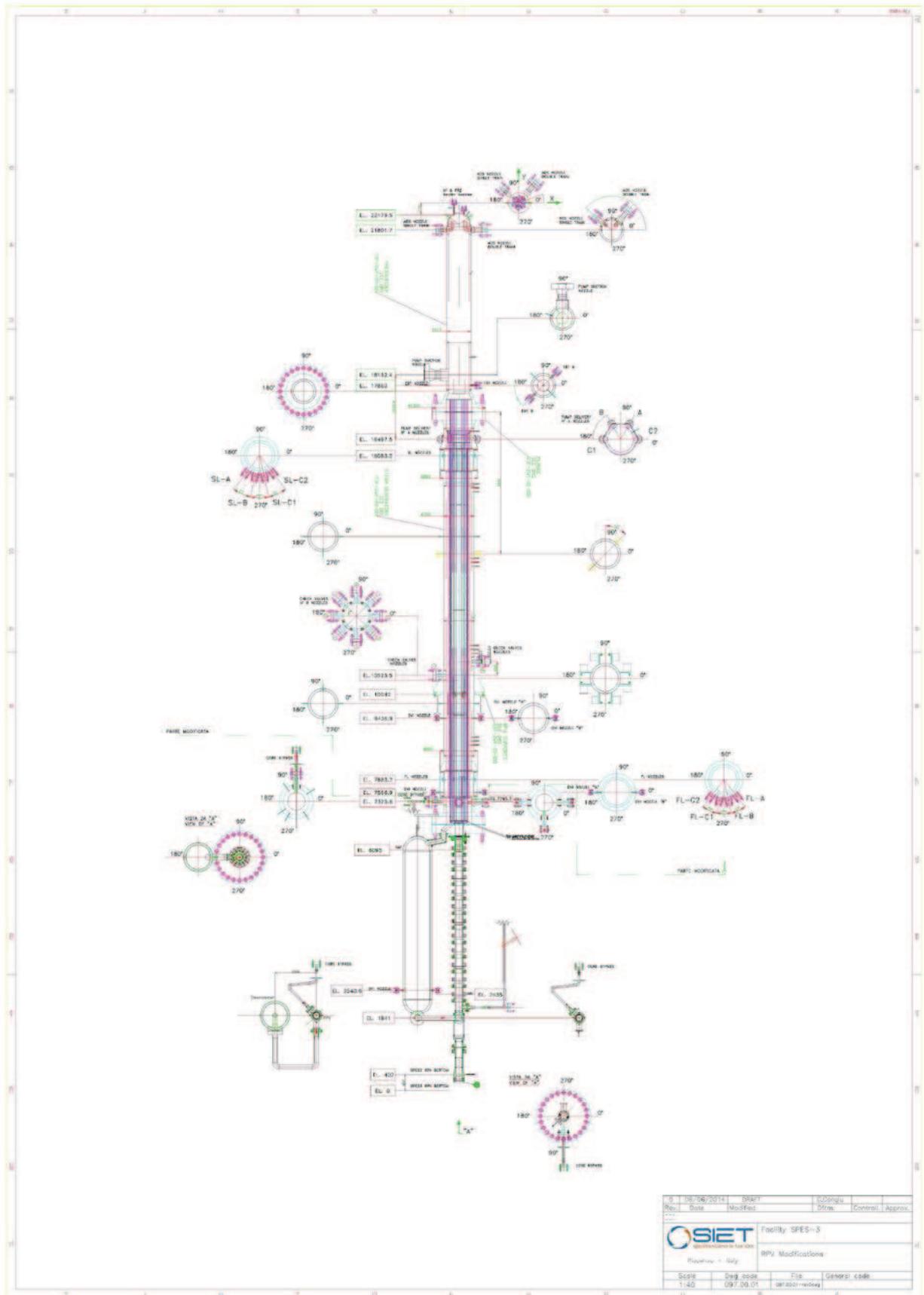


Fig. 18 - SPES-3, flow sheet schematic



1	16/06/2014	02320	Coonga
Rev.	Date	Modific.	Draw. Control. Approv.
		Facility SPES-3	
Progetto: 02320		Rev. Modificazioni	
Scale	Desc. modif.	File	General code
1:40	097.03.01	02320-02320	

Fig. 19 – SPES-3, modifiche al pressure vessel

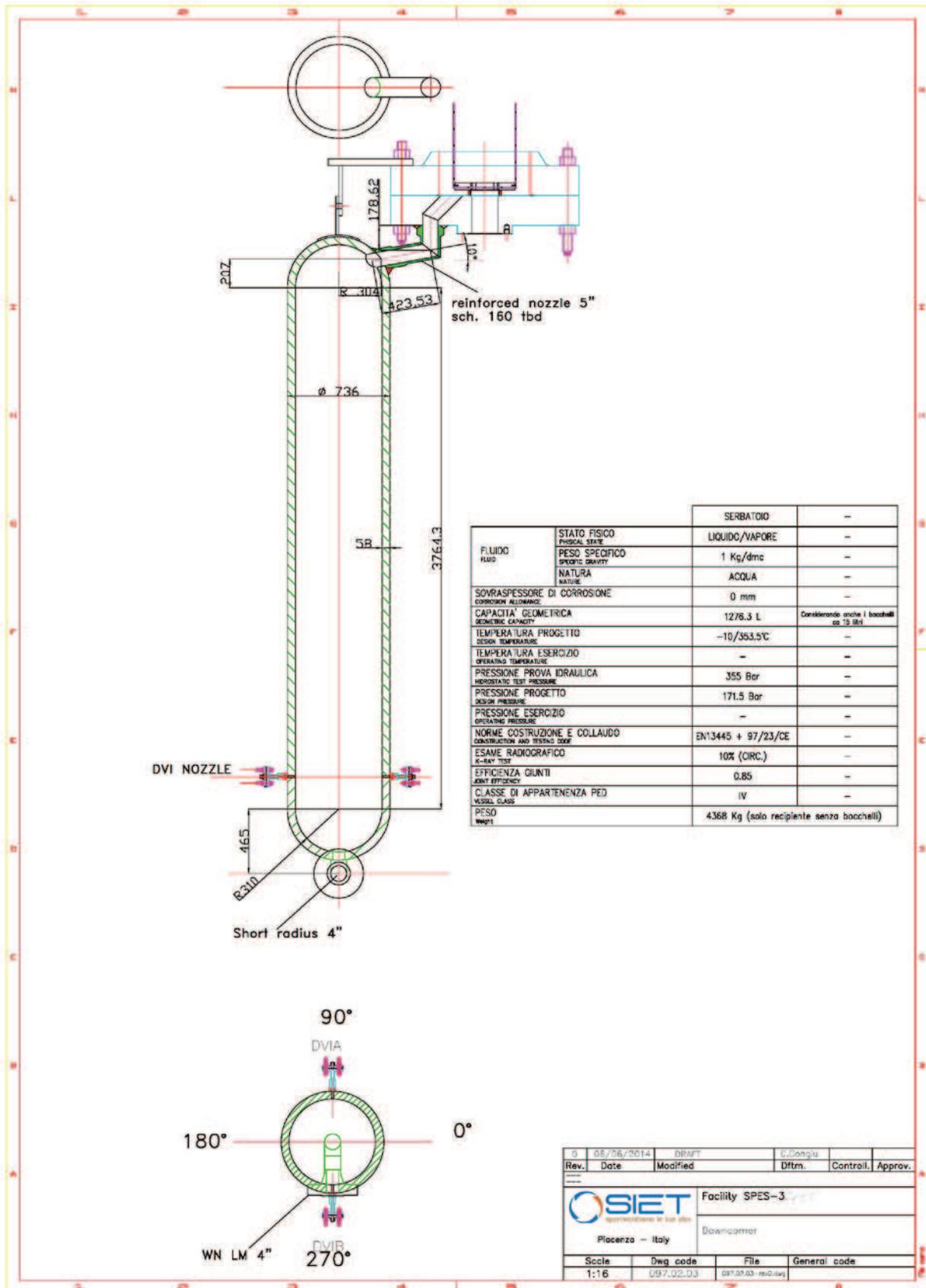


Fig. 20 – SPES-3, downcomer

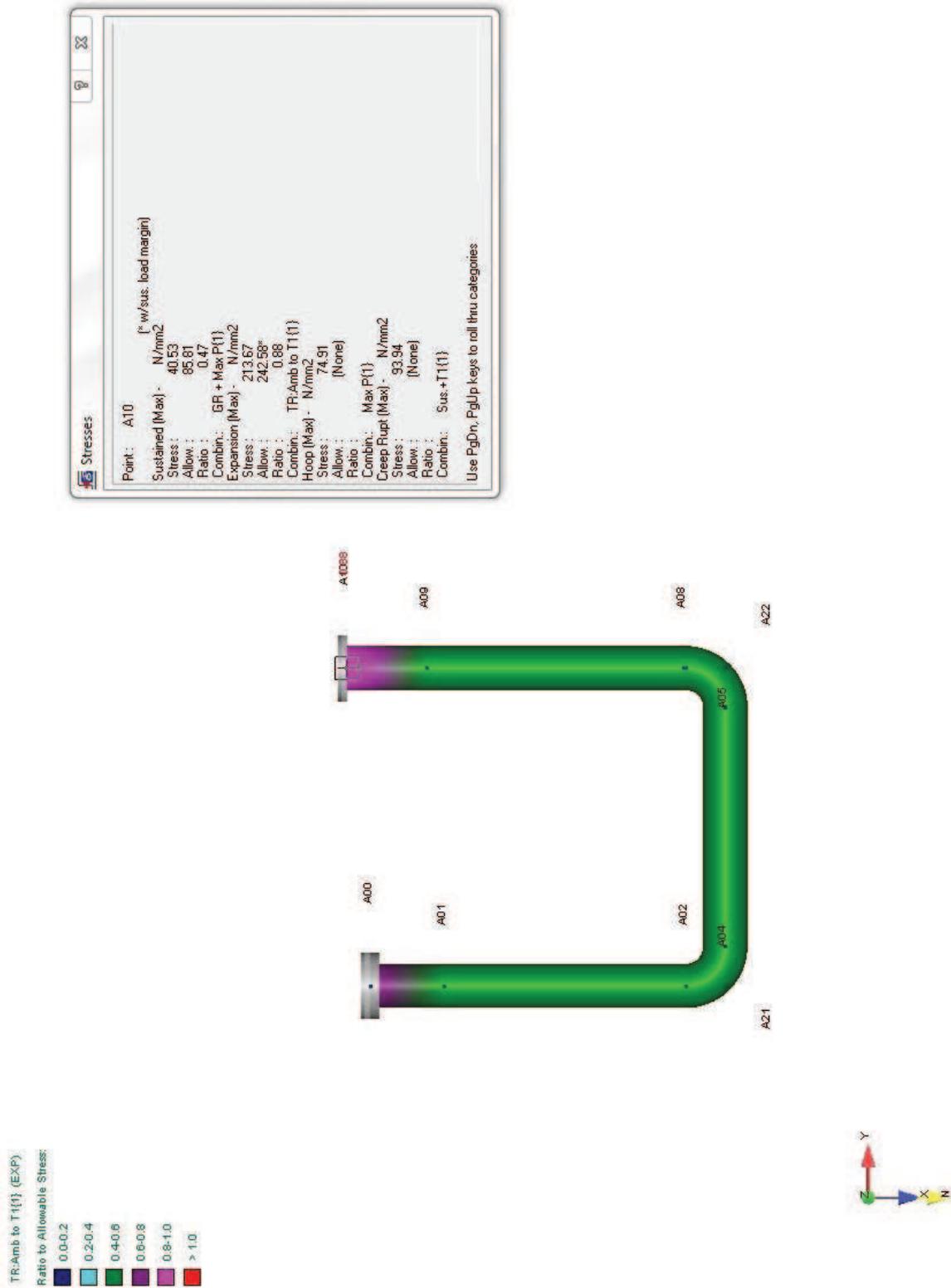


Fig. 21 – SPES-3, linea downcomer – pressure vessel

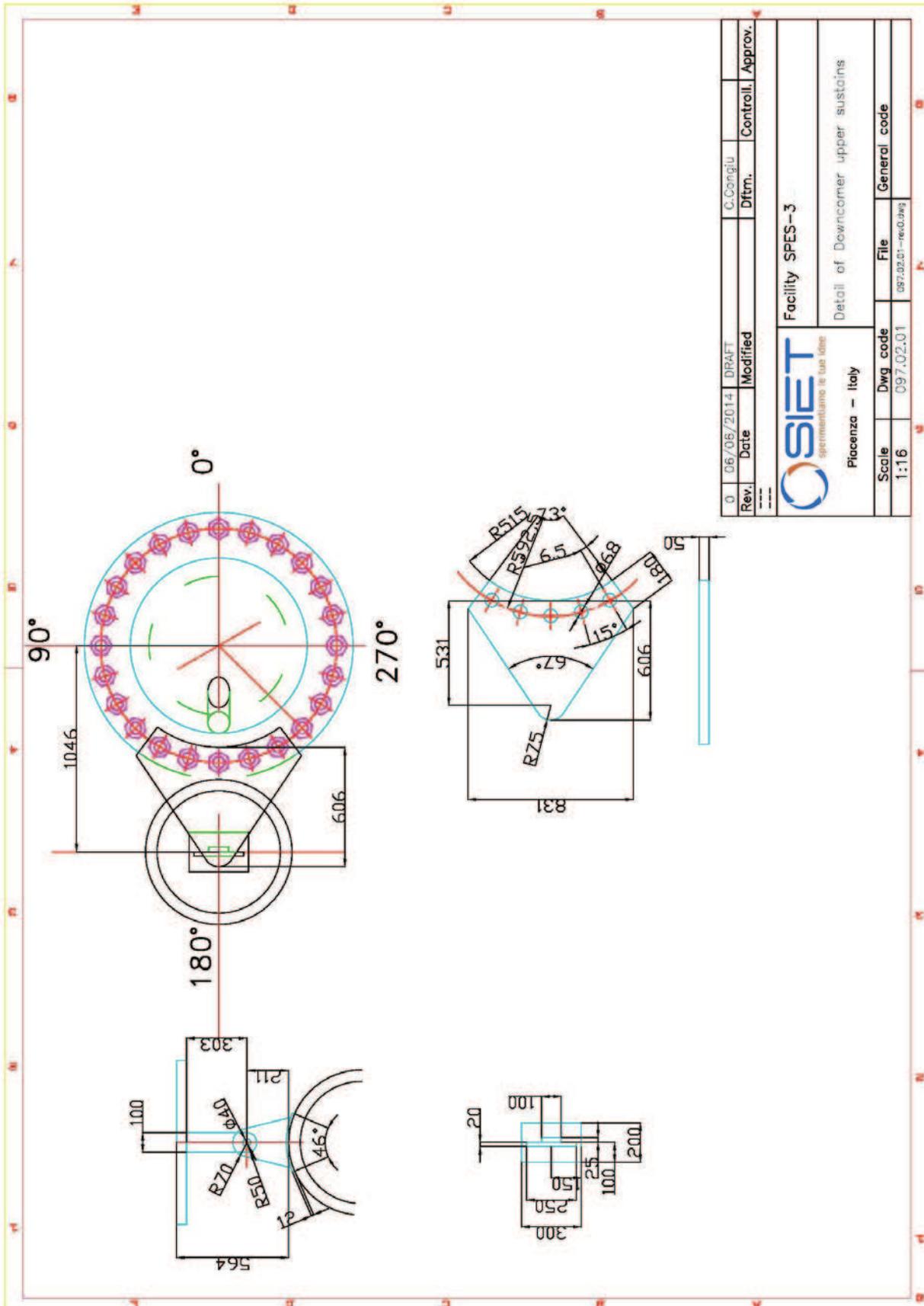


Fig. 22 – SPES-3, supporti del downcomer

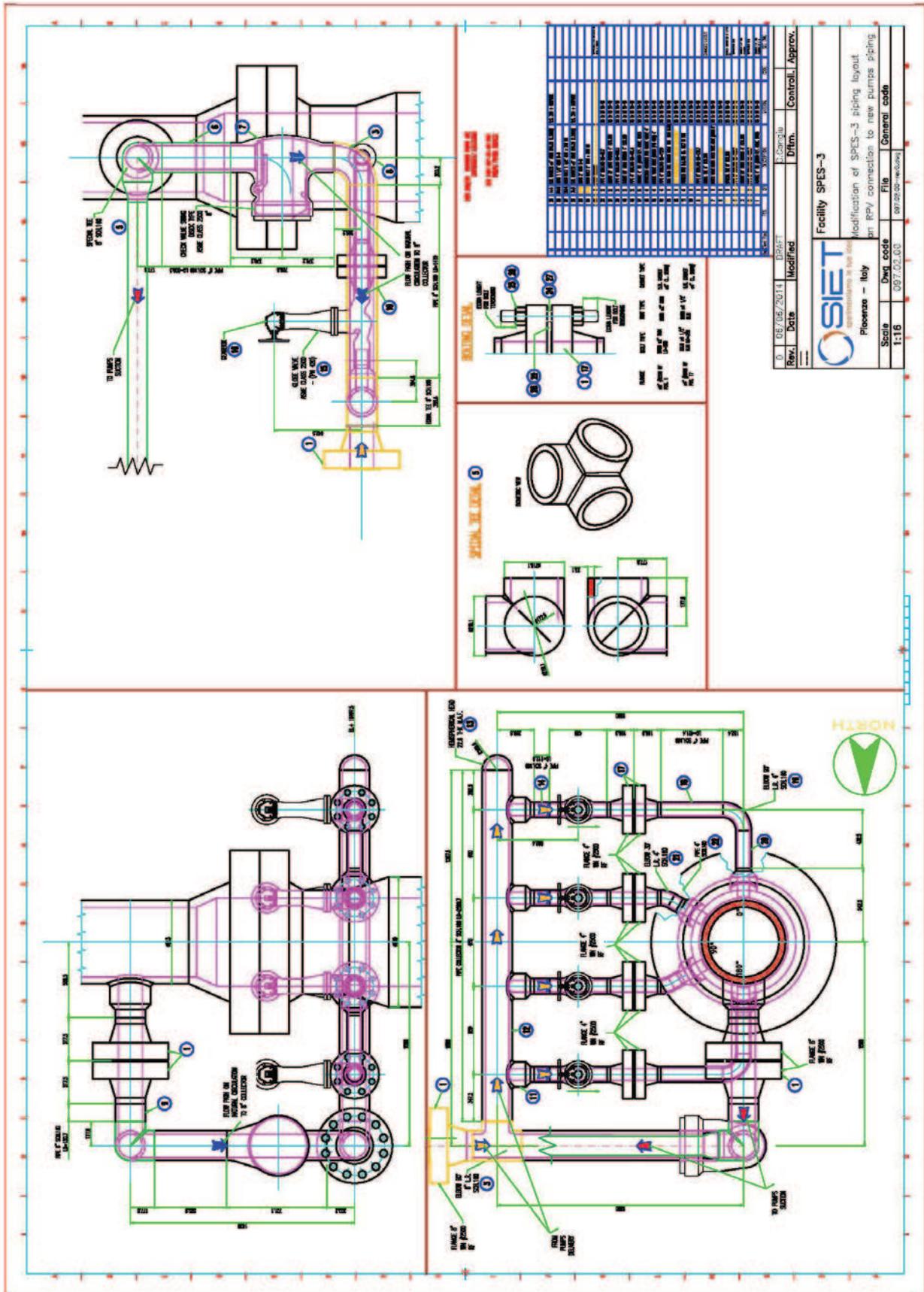


Fig. 24 – SPES-3 sistema di distribuzione delle pompe

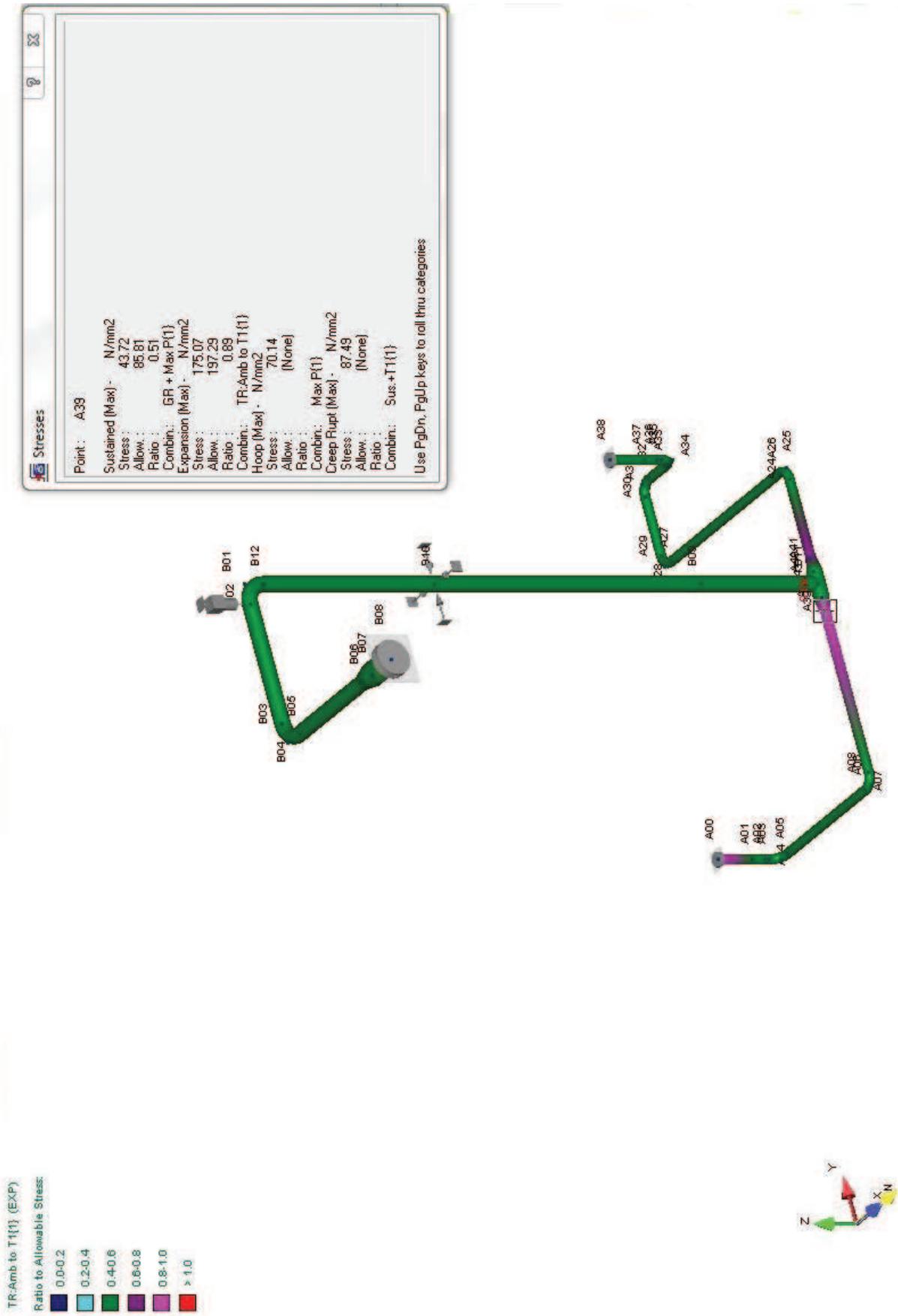


Fig. 25 – SPES-3, linea di mandata delle pompe

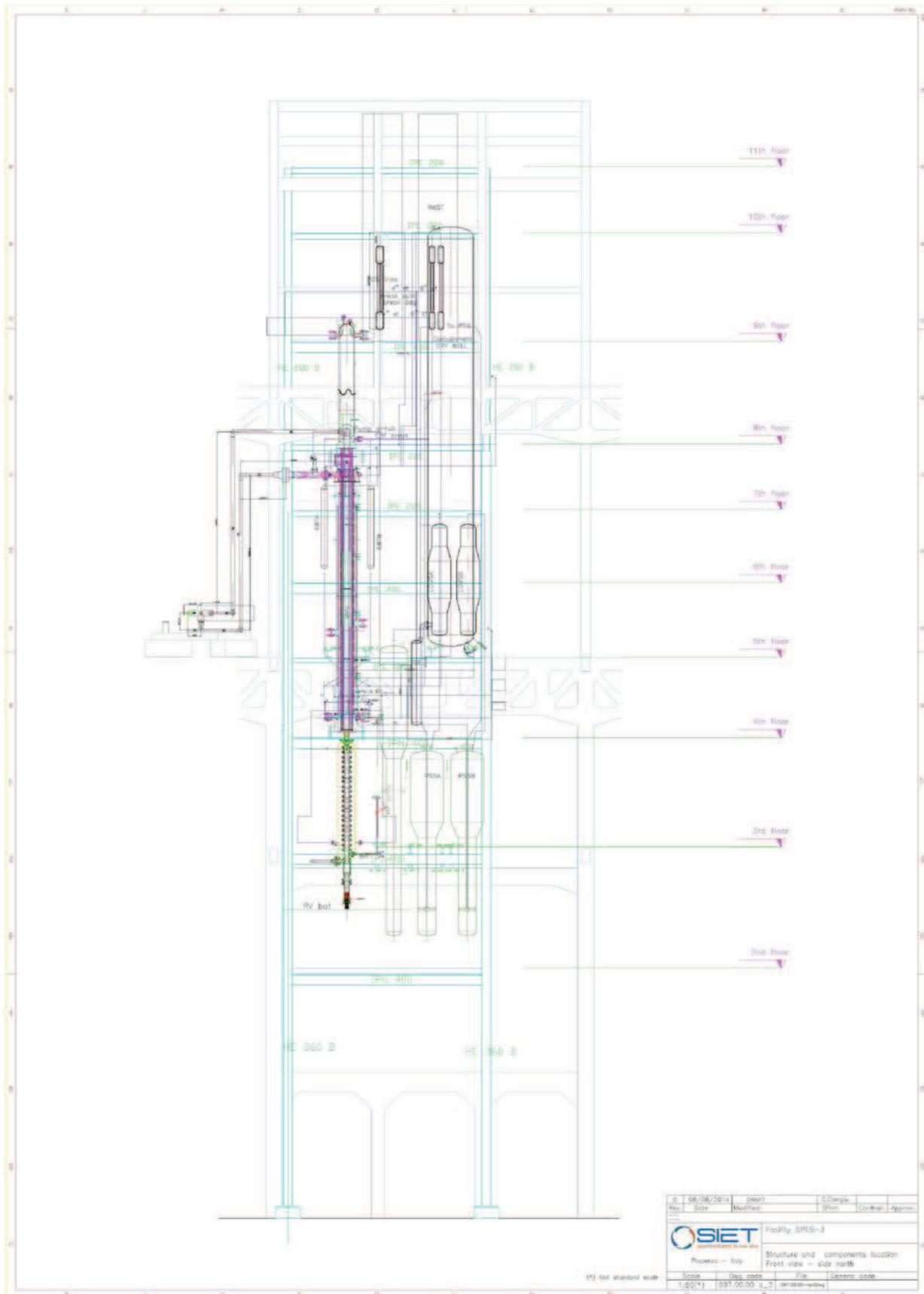


Fig. 27 – SPES-3, vista frontale da N

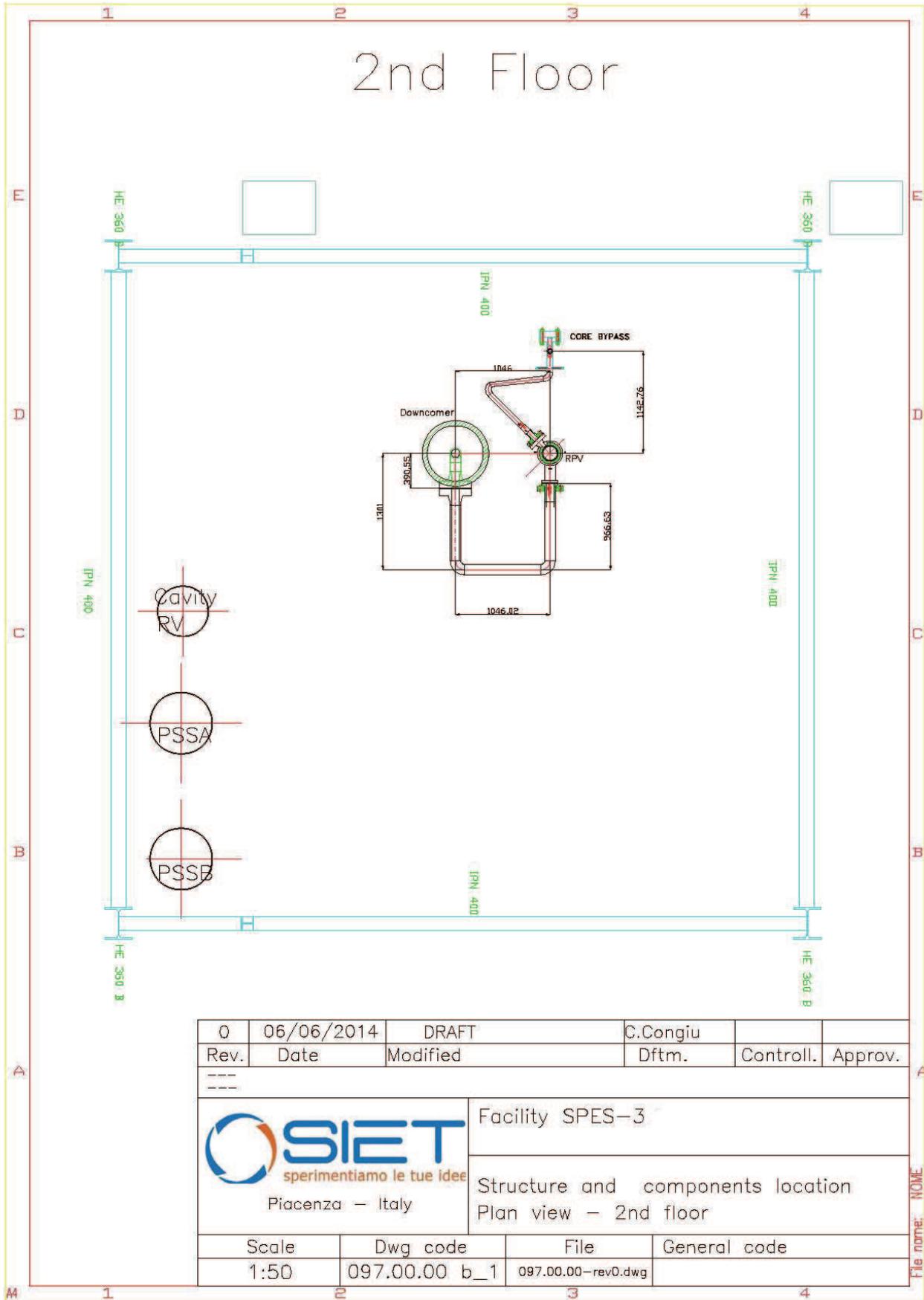


Fig. 28 – SPES-3, pianta del 2° piano

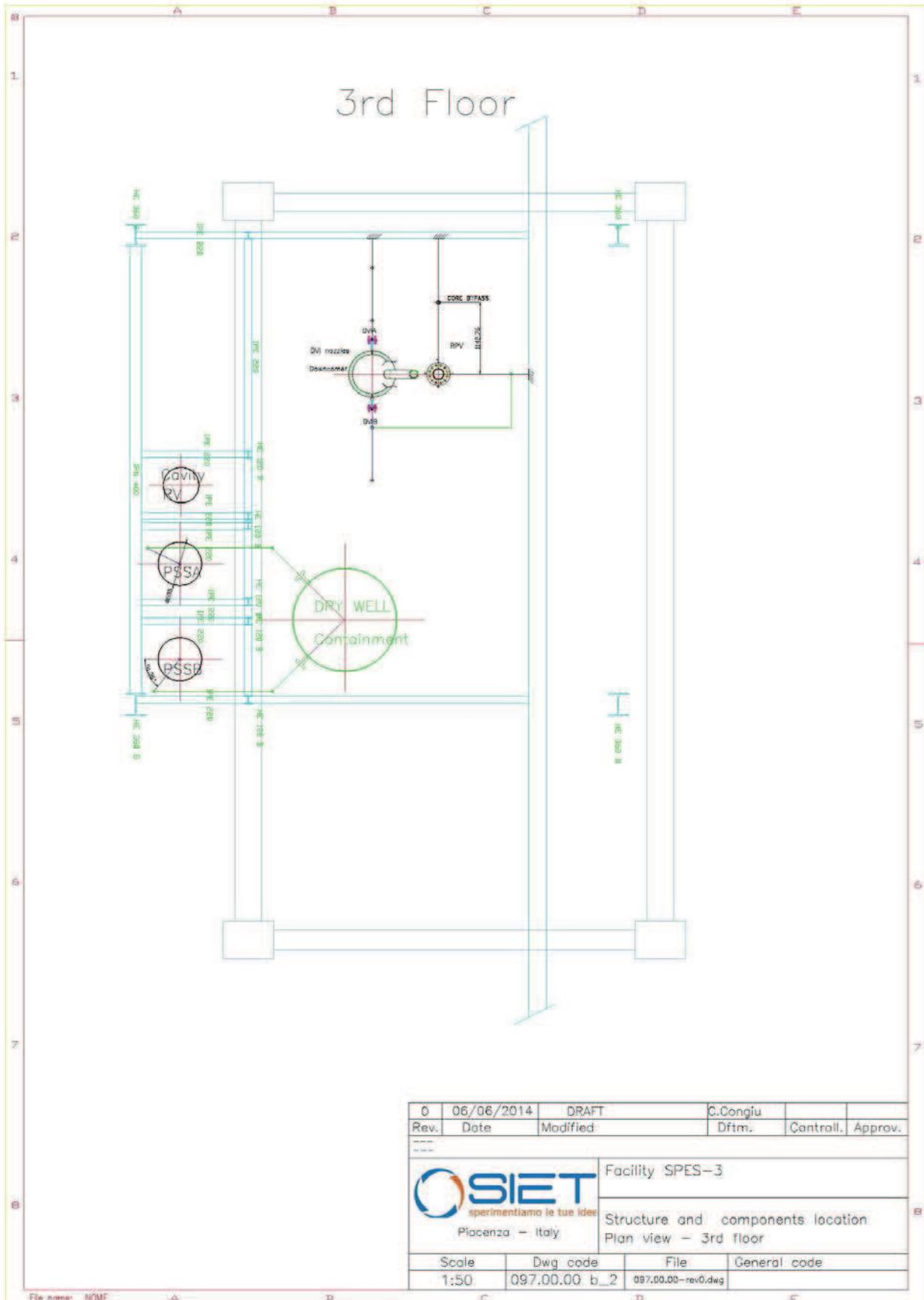


Fig. 29 – SPES-3, pianta del 3° piano

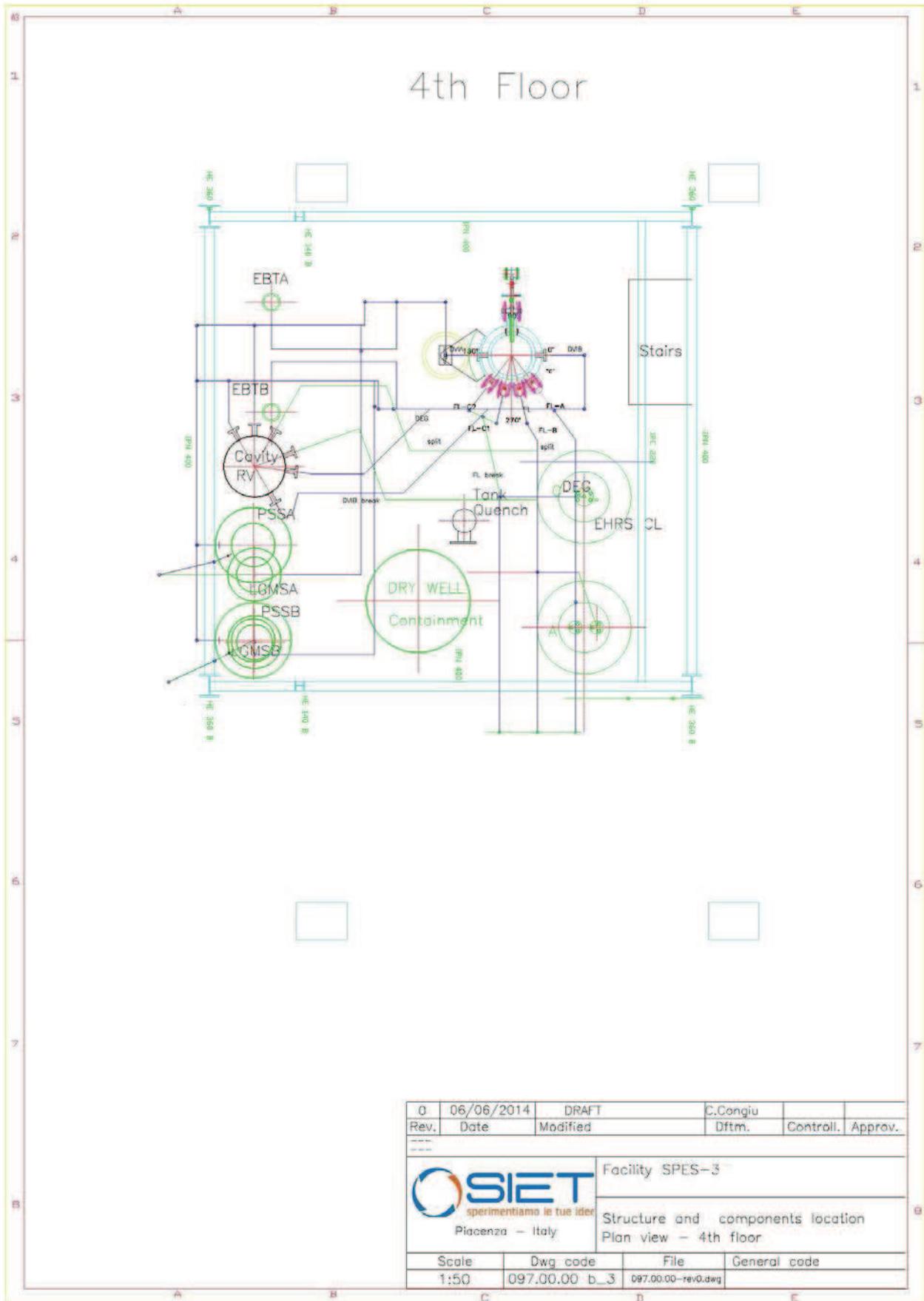


Fig. 30 – SPES-3, pianta del 4° piano

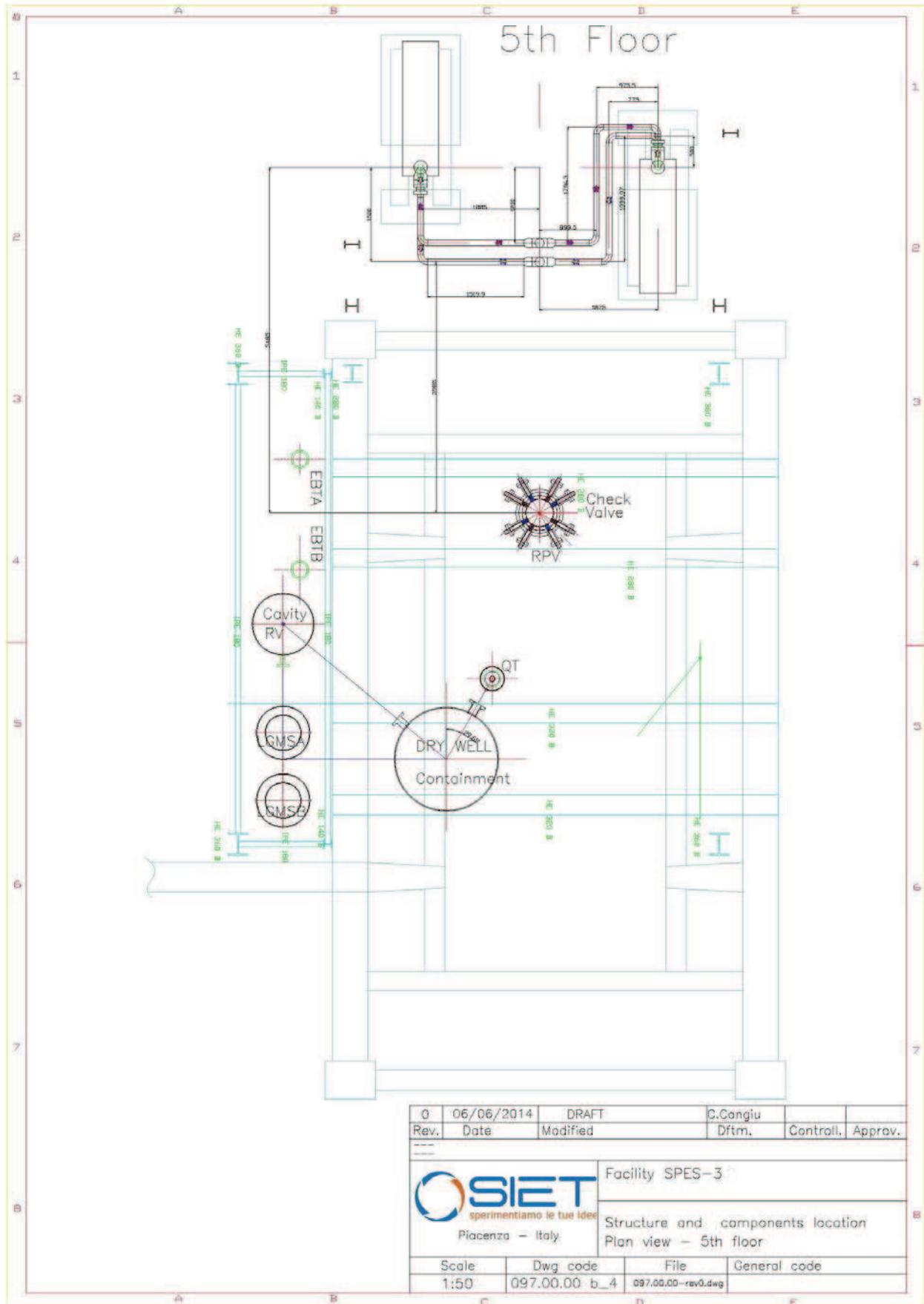


Fig. 31 – SPES-3, pianta del 5° piano

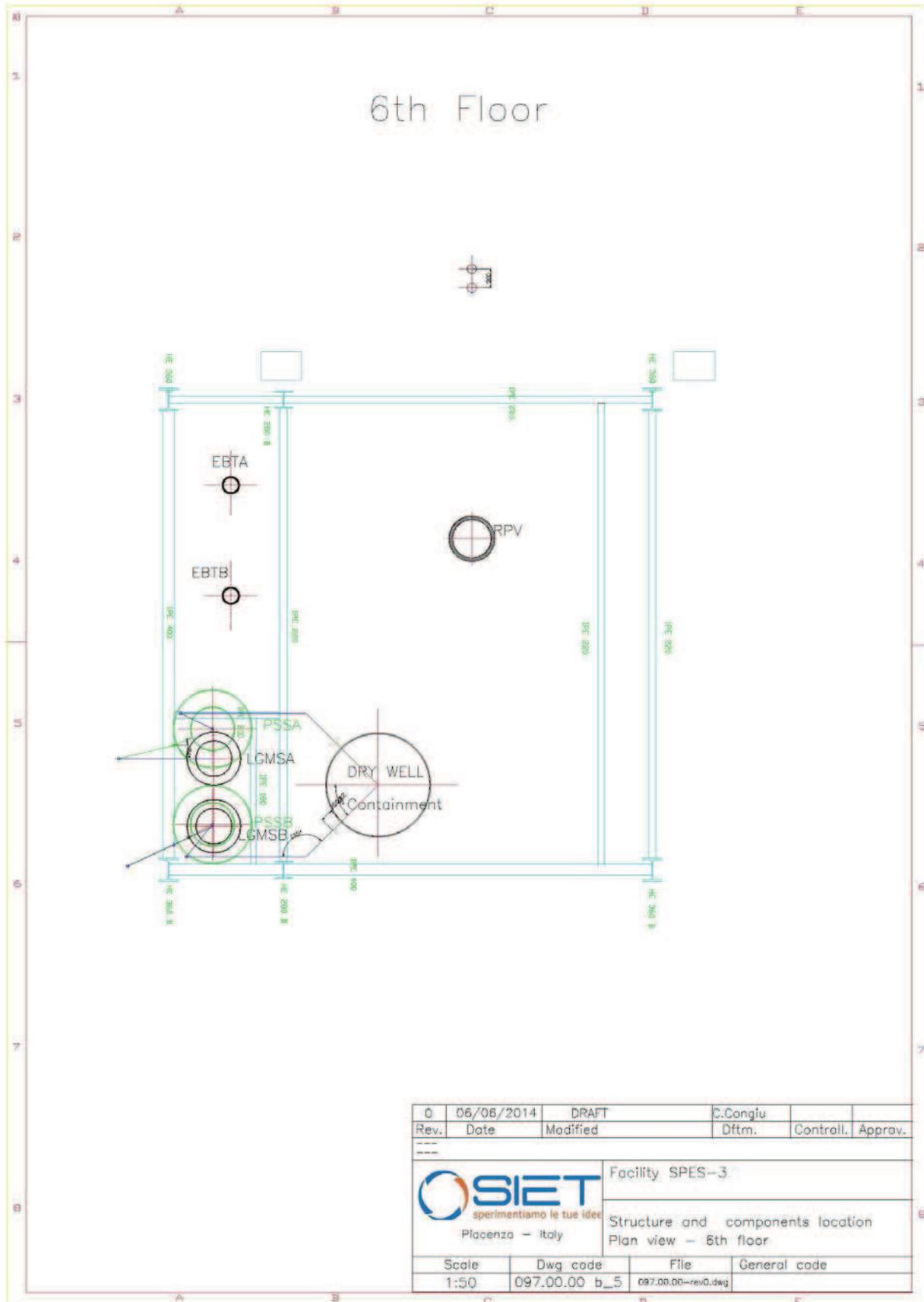


Fig. 32 – SPES-3, pianta del 6° piano

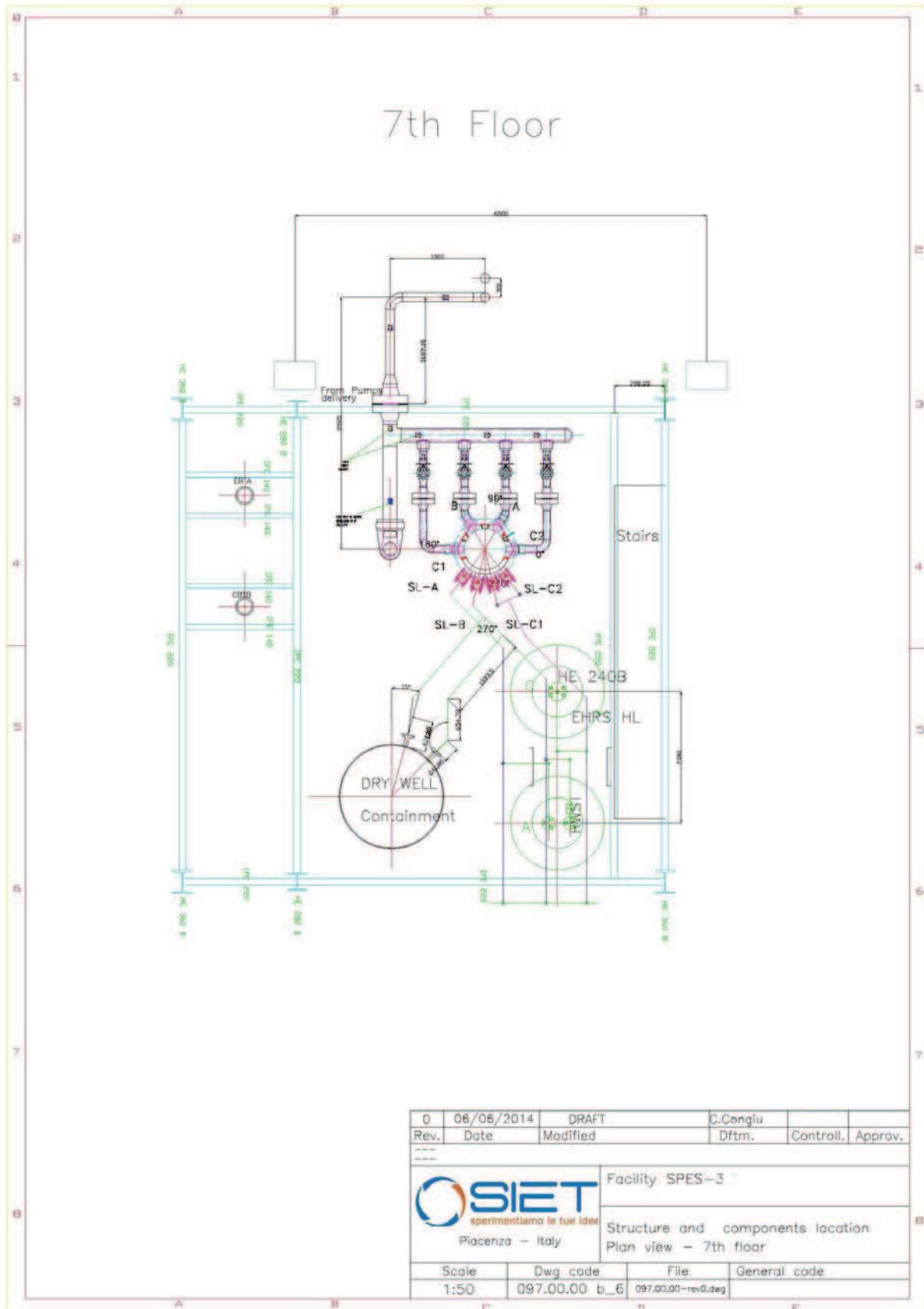


Fig. 33 – SPES-3, pianta del 7° piano

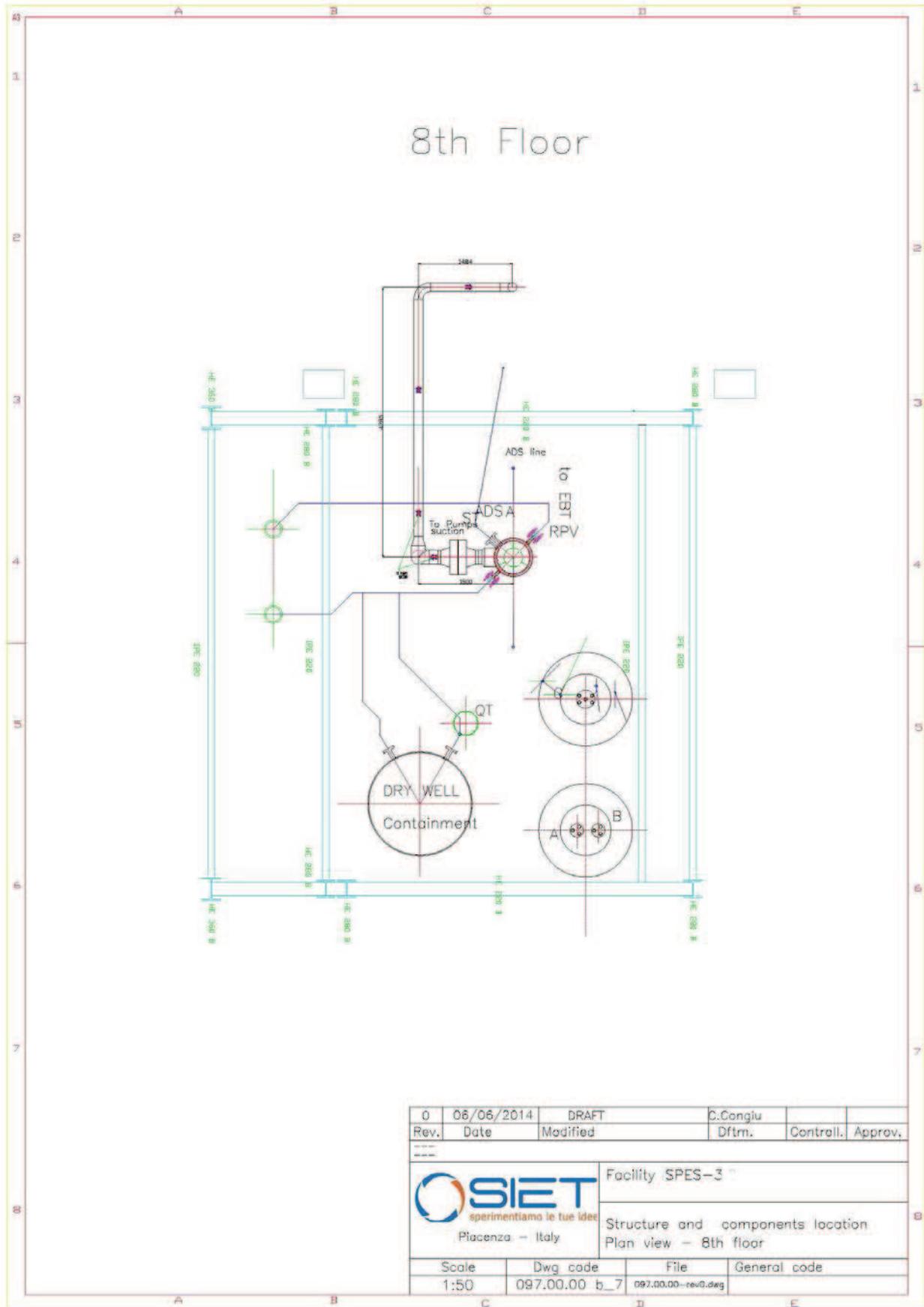


Fig. 34 – SPES-3, pianta del 8° piano

7. MANUTENZIONE DEI COMPONENTI SPES-2

L'ultima campagna sperimentale SPES-2 si è svolta nel 1999. SIET ha provveduto ad effettuare sul canale di potenza le verifiche ed i controlli esposti nel seguito: controlli non distruttivi e analisi FEM (Finite Element Method). Prima di procedere ad un riutilizzo delle pompe e del canale di potenza si rende comunque indispensabile un'attività di manutenzione straordinaria volta al ripristino della funzionalità, della sicurezza e dell'operabilità dei componenti e della strumentazione. Si possono prevedere le seguenti attività.

7.1 Ripristino del canale di potenza

L'attività di manutenzione prevista sul power channel sarà articolata nelle seguenti fasi:

1) Smontaggio del riser

- disconnessione delle sbarrature elettrica all'estremità superiore/inferiore del fascio di barre;
- rimozione dell'upper plenum per accedere alla piastra superiore dipotenza;
- rimozione delle piastre di contatto e del sistema di raffreddamento inferiore,
- smontaggio del sistema di tenuta inferiore;
- registrazione della posizione delle singole barre sulla piastra di potenza superiore;
- svitamento delle barre dalla piastra;
- estrazione del fascio di barre utilizzando l'apposito supporto;
- trasporto del fascio in officina;
- estrazione delle singole barre dal fascio;
- ispezione visiva dello stato delle barre;
- rimozione delle termocoppie di parete;
- check delle griglie di separazione.
- smontaggio dei tratti flangiati con rimozione e smaltimento degli anelli di tenuta in klingerite 400 contenenti amianto;
- ispezione visiva dei tratti flangiati;

2) Inserimento nuova strumentazione

- installazione delle nuove termocoppie;
- prova di tenuta di ciascuna barra per verificarne l'integrità e la brasatura delle termocoppie;
- riassettaggio del fascio.

3) Riassettaggio del riser

- pulizia delle connessioni elettriche inferiori;

- riassettaggio del riser del canale di potenza con l'inserimento dei nuovi anelli di tenuta (phlogopite mica) e l'utilizzo di nuove molle a tazze, per il serraggio degli accoppiamenti;
- inserimento del fascio di barre;
- ripristino delle connessioni elettriche;
- riassettaggio del sistema di raffreddamento della connessione elettrica inferiore.

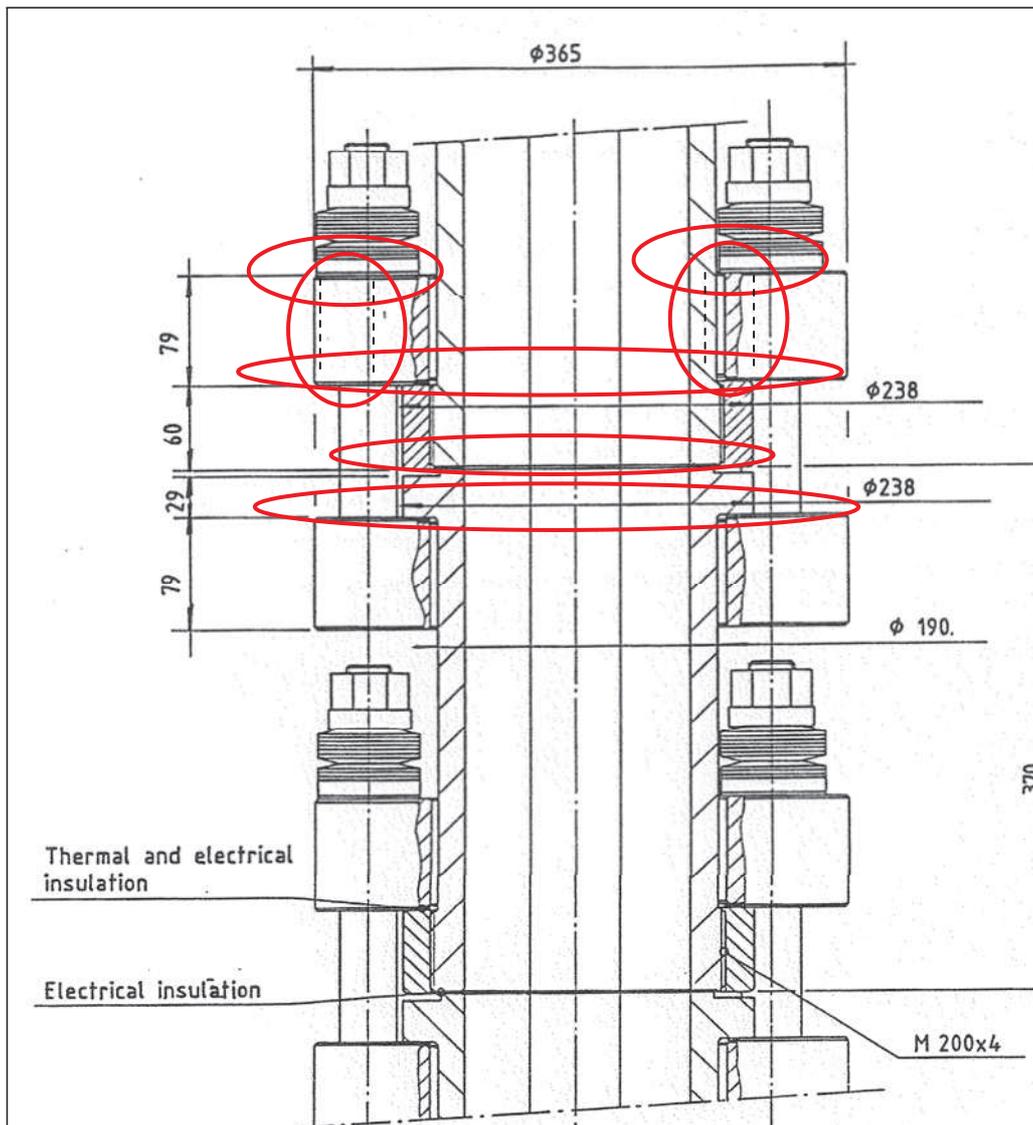


Fig.35 – Posizione delle guarnizioni in klingerite nei tratti flangiati

7.1.1 Sostituzione delle guarnizione in klingerite (contenenti amianto)

La rimozione degli anelli in klingerite sarà effettuata da personale specializzato, dotato dei requisiti di legge, dopo aver confinato l'area per evitare contaminazione e dopo aver installato un sistema di

filtrazione ad alta efficienza. L'operazione verrà effettuata secondo quanto previsto dalla normativa di legge. Le guarnizioni in klingerite sono attualmente posizionate come mostrato in fig. 35.

E' stata effettuata un'indagine di mercato al fine di reperire il materiale adatto alla sostituzione degli anelli di klingerite contenenti amianto, dopo l'esclusione di materiali idonei da un punto di vista meccanici ma non in grado di sopportare temperature così elevate la scelta è ricaduta, tramite l'ausilio di una ditta specializzata, su una particolare mica denominata flogopite in grado di resistere alla pressione di 200 bar e alla temperatura di 350 °C.

Un apposito test (fig. 36) è stato effettuato alle condizioni nominali applicando una tensione di 250 vac su un anello di flogopite dello spessore di 3,2 mm. I risultati hanno evidenziato l'assenza di perdite ed un buon isolamento elettrico.

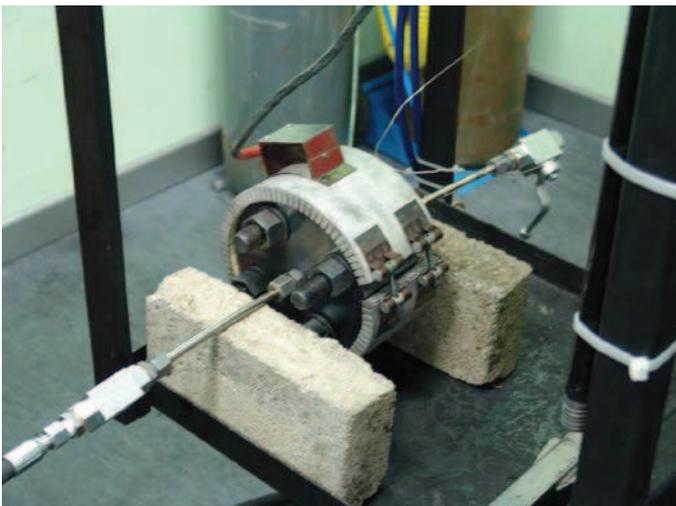


Fig. 36 – Test su guarnizione in flogopite

7.1.2 Verifica del canale di potenza mediante controlli non distruttivi

I controlli non distruttivi sono il complesso di esami, prove e rilievi condotti impiegando metodi che non alterano il materiale e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame. Essi sono finalizzati principalmente alla ricerca ed identificazione di difetti strutturali ed all'analisi dimensionale del componente.

Il controllo non distruttivo è la determinazione delle condizioni fisiche di un oggetto realizzata in modo tale da non compromettere le funzionalità per le quali l'oggetto stesso è stato costruito.

L'indagine prevista da SIET per verificare l'integrità del canale di potenza SPES prevede l'utilizzo di:

- Ultrasuoni;
- Liquidi penetranti
- Ispezione visiva.

Grazie all'utilizzo degli ultrasuoni è possibile rilevare difetti e discontinuità presenti nei manufatti industriali. Il metodo utilizza onde sonore ad alta frequenza (ultrasuoni / UT) che vengono fatte passare attraverso il materiale da esaminare. La velocità di propagazione dell'onda dipende dalle caratteristiche del materiale attraversato.

Eventuali difettosità quali cricche o inclusioni determinano echi di riflessione. Quando il fascio raggiunge la superficie interna del componente viene integralmente riflesso.

Un apparecchio rilevatore riscontra il segnale di partenza e i segnali di ritorno (eco) degli ultrasuoni. I due segnali sono visibili come picchi sullo schermo. Se tra questi picchi ne sono presenti altri vuol dire che il metodo ha evidenziato un difetto del materiale esaminato. La forma e le dimensioni del picco, studiate e confrontate con appositi standard permettono di identificare e localizzare il difetto.

Il principio del metodo di analisi che utilizza i liquidi penetranti si basa sulle proprietà di questi liquidi di introdursi all'interno dei difetti (come cavità, cricche, ripiegature) per capillarità. Per ispezione visiva si intende un'analisi condotta ad occhio nudo da un operatore esperto nella difettologia del componente esaminato.

7.1.3 Prove con ultrasuoni

SIET ritiene che il canale di alimentazione SPES sia integro da un punto di vista strutturale, senza tracce di ossidazione ed esente da riduzione di spessore. In ogni caso un programma di verifica è stato previsto ed intrapreso per garantire l'integrità meccanica del canale di potenza in vista di un possibile utilizzo futuro.

Una prima serie di prove con ultrasuoni è stata già effettuata sul componente nella sua configurazione corrente; una seconda serie di test con liquidi penetranti è prevista una volta

smontato il componente. L'eventuale presenza di parti interessate da corrosione (estremamente improbabile) sarà rilevato mediante ispezione visiva. Tali controlli saranno effettuati su tutte le sezioni flangiate e su tutta la loro lunghezza. SIET effettuerà una serie di controlli dimensionali, utilizzando attrezzature usuale per verificare la corretta corrispondenza dello spessore al progetto originale delle sezioni flangiate.

La prima serie di prove ad ultrasuoni è stata effettuata in aprile 2013 (fig. 37) mediante sonda angolata secondo ASTM A388. Le verifiche sono state effettuate su un tratto di altezza pari a circa 10 cm lungo la circonferenza delle 10 sezioni ottagonali che costituiscono il canale di potenza (fig. 38). Lo scopo di questo controllo è stato quello di evidenziare l'eventuale presenza di crepe nel tratto considerato. I risultati, escludono la presenza di qualsiasi tipo di problema.

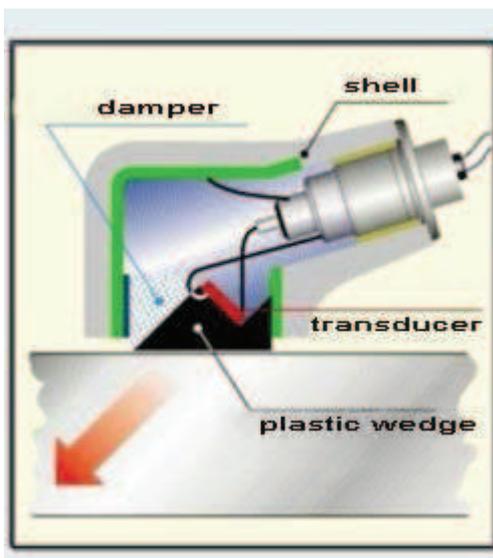


Fig. 37 – Tipo di trasduttore utilizzato nei test

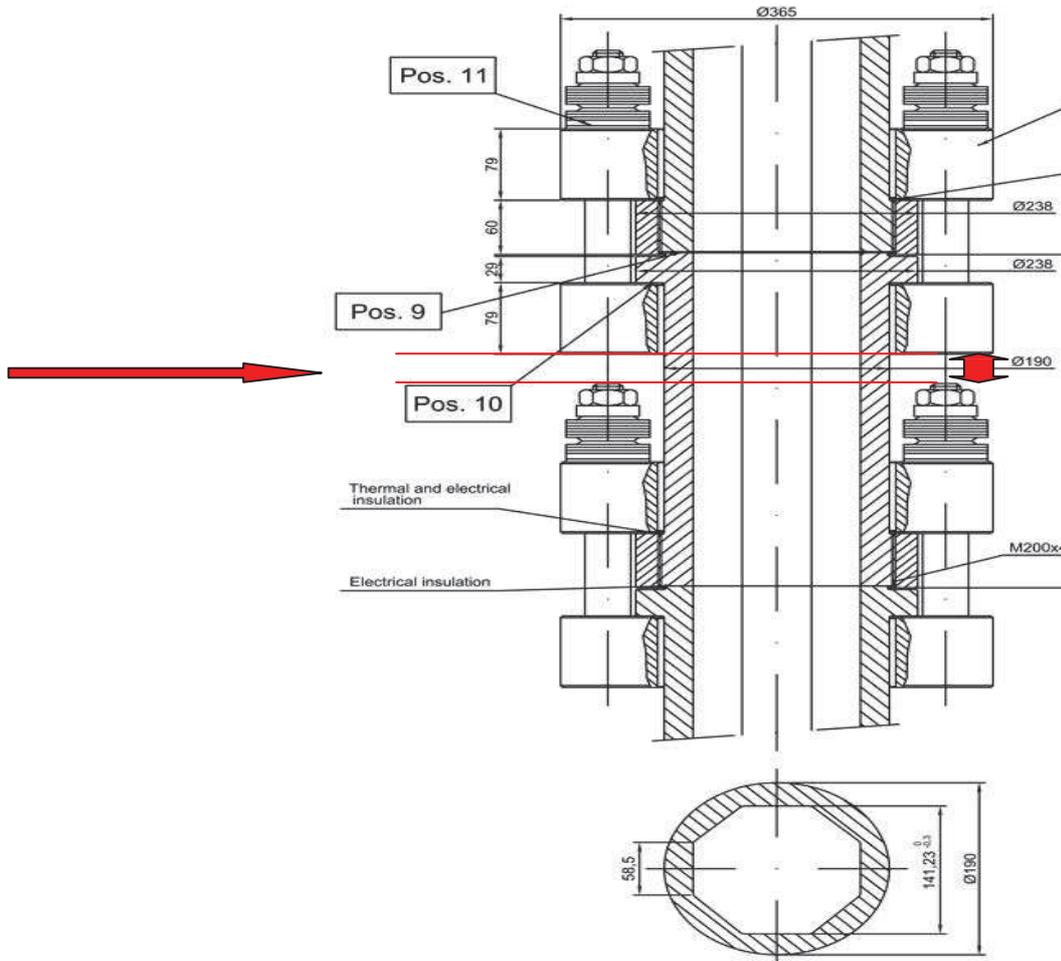


Fig. 38 - Area sottoposta a verifica con ultrasuoni

7.1.4. Analisi strutturale del canale di potenza tramite FEM

Le sollecitazioni agenti sul Power Channel nelle condizioni di progetto e di prova idraulica sono state oggetto di calcolo tramite analisi termostrutturali ad elementi finiti, la verifica è eseguita da RTM Breda secondo il metodo proposto nell'allegato B della normativa EN 13445-3.

Il Power Channel risulta verificato per entrambe le condizioni di carico considerate. In fig. 39 è riportato un dettaglio della modellizzazione realizzata, in fig. 40 è mostrata la distribuzione di temperatura di un accoppiamento flangiato.

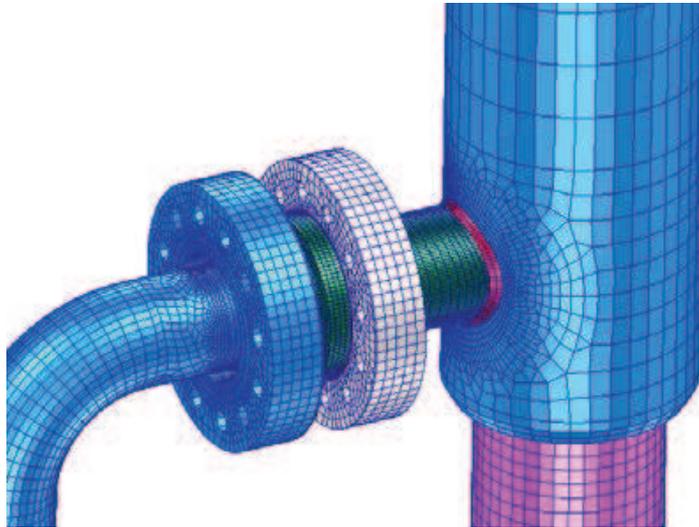


Fig. 39 - Dettagli della modellizzazione FEM

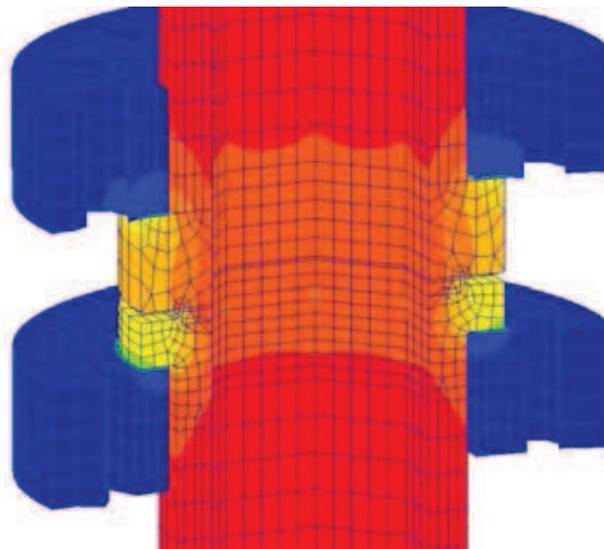


Fig. 40 – Distribuzione di temperature tipica all'interfaccia di due sezioni flangiate

7.2 Manutenzione delle pompe di ricircolo

7.2.1 Aspetti generali

Le pompe primarie dell'impianto SPES2, sono state installate sull'impianto SPES nella seconda metà degli anni 80 e pur essendo ferme dal 1999 non hanno evidenziato alcuna anomalia. Non vi è quindi ragione di supporre la presenza di danneggiamenti o rotture alle macchine od ai sistemi ausiliari. Sono invece presenti i fenomeni di invecchiamento e degrado dei componenti inattivi da 15 anni. Tra i fenomeni di degrado che possono avere un impatto sulla funzionalità vi sono le ossidazioni delle superfici metalliche e dei fluidi lubrificanti dovuti al contatto con aria ed acqua nonché le alterazioni della struttura dei materiali plastici. Considerando che le parti in acciaio inossidabile o altri materiali non sensibili all'ossidazione costituiscono la quasi totalità dei componenti della struttura delle pompe, danni di questo tipo sono da considerarsi trascurabili.

Le alterazioni dei materiali plastici interessano potenzialmente molteplici componenti, parte di questi componenti sono guarnizioni in contatto con fluidi in temperatura e pressione, la cui sostituzione è però estremamente difficoltosa dovendo smontare parti significative della macchina. Le guarnizioni interne si conservano meglio durante i periodi di fermo perchè non vengono in contatto né con agenti esterni né con agenti interni, si considera quindi ragionevole non programmare la loro sostituzione intervenendo solo nel caso in cui dovessero emergere problemi nel corso delle verifiche di funzionalità. Tenendo conto di ciò, di seguito sono riassunti gli interventi che dovranno essere eseguiti per assicurare un adeguato grado di affidabilità alle pompe.

7.2.2 Sostituzione di parti critiche

E' invece necessario programmare la sostituzione dei seguenti componenti ritenuti critici:

- cinghie dentate di trasmissione poste tra motori elettrici e rispettive pompe. Queste cinghie sono rimaste nella stessa posizione per molti anni, con elevata probabilità la struttura interna ha subito deformazioni permanenti che non ne consentono un sicuro utilizzo;
- manicotti in materiale plastico utilizzati sui circuiti ausiliari;
- olio lubrificante

7.2.3 Interventi di pulizia e ripristino

Le seguenti parti (non in acciaio inossidabile) necessitano di manutenzione.

- vasca di raccolta dell'acqua per le tenute: richiede svuotamento, pulizia, decapaggio e pitturazione interna con vernice epossidica bi-componente per vasche ed esterna con antiruggine grigio.
- vasca dell'olio: pulizia;
- tubazioni ausiliarie in acciaio al carbonio: verniciatura con antiruggine grigio

7.2.4 Interventi di taratura, messa a punto e verifica

Alcuni componenti richiedono una messa a punto separata e dettagliata:

- centralina di flussaggio tenute, in particolare del sistema di regolazione che gestisce la pressione dell'acqua di sbarramento;
- centralina di lubrificazione, con particolare attenzione al corretto raggiungimento delle portate e pressioni nei diversi punti d'ingresso alle delle pompe.

E' necessario verificare:

- assenza di perdite da primario verso centralina di flussaggio tenute e verso l'esterno simulando la pressione d'esercizio a pompa ferma;
- libera rotazione delle pompe in condizioni di assenza di pressione nei circuiti.
- funzionamento di motori elettrici (a cinghia staccata) per quanto riguarda la regolazione di velocità e gli interventi delle sicurezze.

E' inoltre necessario programmare una prova di funzionamento in pressione d'esercizio a temperature ambiente, con misura di: portata, prevalenza, velocità di rotazione, assorbimenti e verifica delle perdite attraverso le tenute.

7.3 Direttiva PED (Pressure Equipment Directive)

La configurazione meccanica del canale di potenza è diversa dagli altri componenti in pressione dell'impianto SPES/SPES-2, per questo motivo SIET non richiede, al momento della messa in

servizio, la ratifica da parte delle organizzazioni competenti richiesta ed ottenuta regolarmente per le altre apparecchiature.

Recentemente una nuova direttiva è entrata in vigore per i componenti meccanici in pressione. A causa dell'interesse espresso da diversi possibili committenti per il riutilizzo del canale di potenza SPES-2, SIET ha avviato una procedura formale per verificare se il componente ricada o meno nelle ratifiche prevista dalla nuova direttiva. A seguito di quanto stabilito nel corso della riunione AUSL-ITALCERT-SIET del 20/12/2012, si è deciso di ridurre la temperatura di funzionamento massima possibile del canale di potenza a 350°C. Per far ciò è necessario limitare a 160 bar la pressione massima raggiungibile nel circuito primario impostando a questo valore massimo il set point della valvola di sicurezza.

Dopo una serie di consultazioni con varie istituzioni, AUSL Piacenza (autorità competente) è giunta alla conclusione che a seguito di questa limitazione, a fronte di una serie di verifiche speciali già avviate (ultrasuoni, FEM) o da effettuare in futuro (controlli non distruttivi) e tenendo conto che il power channel SPES-2:

- è stato istituito prima dell'entrata in vigore della direttiva PED;
- è sempre stata esente da ratifiche ISPEL;
- è parte integrante di un impianto sperimentale;
- è simile a un tubo;

esso ricade, secondo la PED, nella Cat. II (Tabella 7). Questo fa sì che non sia necessaria alcun tipo di dichiarazione all'autorità competente ai sensi dell'art. 16 del decreto 329/04.

7.4 Modifica sbarrature in rame

Il percorso delle sbarrature in rame provenienti dai gruppi di conversione (fig. 41) che permettono l'alimentazione elettrica al fascio di barre riscaldanti non subirà variazioni significative rispetto al percorso delineato nel progetto SPES-3 originario in quanto i collegamenti inferiori e superiori risultano solamente traslati in senso verticale rispetto a quanto previsto in precedenza.



Fig. 41 – Sbarratura in rame

8. COSTI PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Per il completamento della facility devono essere effettuate le seguenti principali attività:

- a) realizzazione ed installazione del canale di potenza: parte centrale contenente i generatori di vapore e parte superiore con pressurizzatore;
- b) smontaggio, ripristino ed installazione del riser e del fascio di barre riscaldanti SPES-2;
- c) approvvigionamento e montaggio del piping e delle valvole;
- d) approvvigionamento, installazione e cablaggio della strumentazione;
- e) manutenzione delle pompe di ricircolo SPES-2;
- f) installazione del riser SPES-2;
- g) realizzazione ed installazione del downcomer.

Nel presente capitolo, per ciascuna delle sopra citate attività, è riportata una stima dei costi corredata da informazioni complementari concernenti sia una descrizione dei materiali/prestazioni da acquistare sia indicazioni su come è stata ottenuta la stima effettuata.

8.1 Realizzazione ed installazione del canale di potenza

Il canale di potenza è realizzato totalmente in acciaio inossidabile ed è costituito da tre parti interconnesse da accoppiamenti flangiati provviste di bocchelli per la connessione agli altri componenti/sistemi di SPES-3:

- una parte inferiore che alloggia il fascio di barre riscaldanti proveniente da SPES-2;
- una parte intermedia con i generatori di vapore;
- una parte superiore costituente il pressurizzatore.

La valutazione economica complessiva (realizzazione, collaudo, trasporto, montaggio ed installazione) relativa alla configurazione originale del canale di potenza ad esclusione del fascio di barre, è stata affidata alla ATB Riva Calzoni S.p.A. di Roncadelle (BS). Il costo relativo a realizzazione ed installazione delle sole parti intermedia e superiore (utili per il presente progetto), comprensivi del sistema di distribuzione delle pompe si può valutare [15] in 2.300.000 €. La valutazione non prevede attività SIET.

8.2 Ripristino del riser del canale di potenza

I costi da sostenere per le attività di ripristino del canale di potenza descritte nel par. 7.1 sono riportate in tab. 5. Si assume che le attività vengano eseguite mantenendo il canale nella

configurazione corrente senza sostanziali cambiamenti e senza l'acquisto di componenti di scorta (i.e. barre riscaldanti).

Tabella 5 – Costi per il ripristino del canale di potenza

ATTIVITA'	TOTALE (€)
Progetto e garanzia qualità	80.000
Ingegneria e amministrazione	150.000
Approvvigionamento materiale	200.000
<i>guarnizioni in flogopite</i>	
<i>molle a tazza</i>	
<i>piastre per connessioni elettriche</i>	
<i>varie</i>	
Lavori	250.000
<i>smontaggio canale di potenza</i>	
<i>operazioni sul fascio di barre*</i>	
<i>riassembaggio del riser</i>	
<i>connessione elettrica</i>	
Verifiche	80.000
<i>controlli non distruttivi</i>	
<i>prova idraulica barre riscaldate</i>	
<i>verifica termocoppie barre riscaldate</i>	
<i>prova idraulica riser</i>	
Emissione documenti	40.000
TOTALE	780.000

* Rimozione termocoppie esistenti, controllo dell'integrità degli spaziatori, brasatura nuove termocoppie, riassembaggio del fascio

8.3 Manutenzione delle pompe di ricircolo

I costi per le attività di manutenzione delle pompe di ricircolo descritti nel par. 7.2 possono essere quantificati in 40.000 € comprensivi dei materiali (olio, cinghie e componenti vari) e della manodopera.

8.4 Approvvigionamento e montaggio del downcomer

Come descritto nel capitolo 6 il downcomer è un serbatoio in acciaio inox del peso approssimativo di 4.4 t, altezza 3,8 m con diametro 0,74 cm. La valutazione economica, effettuata con riferimento ad un'offerta per analoghi componenti (luglio 2014), si può quantificare in 300.000€ comprensivo del montaggio.

8.5 Approvvigionamento di piping & fittings

Il piping dell'impianto SPES-3 è progettato in acciaio inossidabile ed include:

- tubazioni;
- fondi semiellittici;
- flange;
- curve;
- riduzioni concentriche;
- giunzioni a T.

Nelle tabelle 6, 7, 8, 9, 10,11 sono riportati gli elenchi di piping & fittings con le caratteristiche dei materiali in oggetto, in grassetto i componenti necessari nella nuova configurazione.

Tabella 6 - Tubazioni

DN	SCH	Lunghezza, m
3/8"	40	46
1/2"	40	32
1"	40	19
1" 1/4	40	7
1" 1/2	40	11
2"	40	7
2" 1/2	40	33
3"	40	15
4"	40	9
5"	40	3
3/8"	80	15
1/2"	80	71
3/4"	80	35
1"	80	2
1" 1/4	80	28
1" 1/2	80	26
2"	80	44
2" 1/2	80	14
3"	80	2
5"	80	2
8"	80	2
1" 1/2	160	17
2"	160	2
2" 1/2	160	12
3"	160	12
4"	160	3
5"	160	20
TOTALE		489

Tabella 7 – Fondi semiellittici

DN	SCH	N°
5"	80	2
8"	80	2
TOTALE		4

Tabella 8 – Flange

DN	Classe	Tipo	SCH	Finitura	Numero
1/2"	2500	Welding neck	80	LM/LF	40
3/4"	2500	Welding neck	80	LM/LF	33
1"	2500	Welding neck	80	LM/LF	6
1"1/4	2500	Welding neck	80	LM/LF	13
1"1/2	2500	Welding neck	80	LM/LF	33
1"1/2	2500	Welding neck	160	LM/LF	31
2"	2500	Welding neck	80	LM/LF	35
2"1/2	2500	Welding neck	80	LM/LF	7
2"1/2	2500	Welding neck	160	LM/LF	17
3"	2500	Welding neck	80	LM/LF	3
4"	2500	Welding neck	160	LM/LF	2
1/2"	2500	Slip on		LM/LF	3
1"	2500	Slip on		LM/LF	2
3"	2500	Slip on		LM/LF	4
4"	2500	Slip on		LM/LF	1
1/2"	2500	Blind		LM/LF	9
2"	2500	Blind		LM/LF	2
2"1/2	2500	Blind		LM/LF	5
4"	2500	Blind		LM/LF	2
2"1/2	600	Slip on		LM/LF	5
1/2"	300	Welding neck	40	RF	9
1"1/4	300	Welding neck	40	RF	3
2"	300	Welding neck	40	RF	5
4"	300	Welding neck	40	RF	2
1/2"	300	Slip on		RF	35
1"1/4	300	Slip on		RF	4
1"1/2	300	Slip on		RF	4
2"	300	Slip on		RF	5
2"1/2	300	Slip on		RF	14
3"	300	Slip on		RF	3
4"	300	Slip on		RF	13
5"	300	Slip on		RF	5
TOTALE					355

Tabella 9 - Curve

DN	SCH	TIPO		N°
1/2"	40	90°	Long Radius	31
1"	40	90°	Long Radius	5
1" 1/4	40	90°	Long Radius	11
1" 1/2	40	90°	Long Radius	2
2"	40	90°	Long Radius	8
2" 1/2	40	90°	Long Radius	13
2" 1/2	40	90°	Short Radius	3
3"	40	90°	Long Radius	18
4"	40	90°	Long Radius	5
4"	40	90°	Short Radius	3
5"	40	90°	Long Radius	4
1/2"	80	90°	Long Radius	39
3/4"	80	90°	Long Radius	15
1" 1/4	80	90°	Long Radius	9
1" 1/2	80	90°	Long Radius	16
2"	80	90°	Long Radius	19
2" 1/2	80	90°	Long Radius	6
2" 1/2	80	90°	Short Radius	3
1" 1/2	160	90°	Long Radius	8
2"	160	90°	Long Radius	1
2" 1/2	160	90°	Long Radius	5
3"	160	90°	Long Radius	10
4"	160	90°	Short Radius	2
5"	160	90°	Long Radius	4
TOTALE				240

Tabella 10 – Riduzioni concentriche

DN	SCH	N°
2" 1/2 x 4"	160	2
1" 1/2 x 2"	160	2
2" ½ x 2"	160	1
5" x 3"	160	4
8" x 5"	160	2
3/4" x 1/2"	80	14
3/4" x 1" 1/4	80	6
1"1/4 x 1/2"	80	5
1"1/2 x 1/2"	80	3
2" 1/2 x 1" 1/4	80	5
2" x 1/2"	80	2
2" x 3/4"	80	3
2" x 1" 1/2	80	3
2" x 3"	80	5
2" 1/2 x 3"	80	4
1" 1/2 x 3"	80	5
1" x 1/2"	40	2
1/2" x 1" 1/4	40	8
1" x 2" 1/2	40	4
3/4" x 1" 1/4	40	3
1"1/4 x 2" 1/2	40	4
1" 1/2 x 1"	40	3
1" 1/2 x 3"	40	5
2" x 1/2"	40	5
2" x 3"	40	5
2" 1/2 x 4"	40	5
3" x 2"	40	3
3" x 2" 1/2	40	2
3" x 4"	40	5
5" x 4"	40	3
TOTALE		123

Tabella 11 – Giunzioni a T

DN	SCH	Tipo	N°
2" 1/2	160	TEE uguale	3
1" 1/2	160	TEE uguale	5
5"	160	TEE uguale	2
1/2"	80	TEE uguale	7
3/4"	80	TEE uguale	3
1" 1/4	80	TEE uguale	3
1" 1/2	80	TEE uguale	4
2"	80	TEE uguale	6
2" 1/2	80	TEE uguale	2
2" 1/2 x 1"	80	TEE ridotto	2
2" 1/2 x 2"	80	TEE ridotto	2
2" x 1"	80	TEE ridotto	3
2" x 1" 1/4	80	TEE ridotto	3
2" x 3/4"	80	TEE ridotto	2
1" 1/2 x 3/4"	80	TEE ridotto	4
1/2"	40	TEE uguale	8
2" 1/2	40	TEE uguale	3
4"	40	TEE uguale	2
3" x 1" 1/2	40	TEE ridotto	2
1/2"	80	TEE uguale a 45°	2
TOTALE			69

Il valore complessivo stimato da SIET per la voce piping & fittings assomma a Euro 196.000, IVA esclusa. Questo valore è stato calcolato sulla base di offerte da fornitori di fiducia (maggio 2013), tenendo conto di tutte le attività necessarie per il procurement.

8.6 Approvvigionamento delle valvole

Sull'impianto SPES-3 è prevista l'installazione di n. 136 valvole. Nelle tabelle 12, 13, 14, 15, 16 sono riportati gli elenchi delle valvole con le caratteristiche fondamentali, ripartiti nelle seguenti tipologie:

- valvole di intercettazione a sfera;
- valvole di sicurezza;
- valvole di ritegno;
- valvole di regolazione;
- valvole manuali a globo.

Tabella 12 - Valvole a sfera ad attuazione pneumatica

N°	Pressione di progetto, MPa	Temperatura di progetto, °C	Fluido	Diametro e Rating	Attacchi	Materiale corpo
1	17,25	353,5	fluido bifase	2" ½ Ansi 2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
2	17,25	353,5	fluido bifase	2 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
3	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
4	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
5	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
6	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
7	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
8	17,25	353,5	fluido bifase	1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
9	17,25	353,5	fluido bifase	1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
10	17,25	353,5	fluido bifase	1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
11	17,25	353,5	fluido bifase	3/8" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
12	17,25	353,5	fluido bifase	3/8" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
13	17,25	353,5	fluido bifase	3/4" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
14	17,25	353,5	fluido bifase	3/4" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio INOX
15	17,25	353,5	fluido bifase	3/4" ANSI2501	Flangia LF	Acciaio INOX
16	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/4" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
17	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/4" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
18	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
19	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
20	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
21	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
22	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
23	17,25	353,5	fluido bifase	1 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
24	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
25	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangia LF	Acciaio INOX
26	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangia LF	Acciaio INOX
27	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangia LF	Acciaio INOX
28	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangia LF	Acciaio INOX
29	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangia LF	Acciaio INOX
30	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangia LF	Acciaio INOX
31	17,25	353,5	Vapore surriscaldato e saturo	2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
32	17,25	353,5	Vapore surriscaldato e saturo	2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
33	17,25	353,5	Vapore surriscaldato e saturo	2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
34	17,25	353,5	Vapore surriscaldato e saturo	2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
35	17,25	353,5	Vapore surriscaldato e saturo	2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio
36	17,25	353,5	Vapore surriscaldato e saturo	2 1/2" ANSI2500	Flangia LF	Acciaio al carbonio

Tabella 13 – Valvole di Sicurezza

N°	Pressione di apertura, MPa	Temperatura (fluido alle condizioni di apertura), °C	Portata massima, kg/s	Fluido	Sovrappressione %	Contropressione MPa	Diametro orifizio, mm	Diametro e Rating	Attacchi	Materiale corpo
1	164,3	350	7,30	Vapore saturo	5	0,3	25	2 1/2" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al carbonio
2	164,3	350	7,30	vapore saturo	5	0,3	25	1 1/2" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al carbonio
3	164,3	350	2,00	vapore saturo	5	0,3	10	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al carbonio
4	18,2	212	9,44	vapore saturo	10	0,2	80	4" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
5	164,3	350	2,00	vapore saturo	5	0,3	10	1" ANSI2500	Flangiati	Acciaio al carbonio
6	18,2	212	2,00	vapore saturo	10	0,2	12	1 1/2" x 2" ANSI 300	Filettati	Acciaio al carbonio
7	18,2	212	2,00	vapore saturo	10	0,2	12	1 1/2" x 2" ANSI 300	Filettati	Acciaio al carbonio
8	18,2	212	0,56	vapore saturo	10	0,2	50	2 1/2" ANSI300	Flangiati	Acciaio al carbonio
9	18,2	212	2,00	vapore saturo	10	0,2	12	1 1/2" x 2" ANSI 300	Filettati	Acciaio al carbonio
10	18,2	212	2,00	vapore saturo	10	0,2	12	1 1/2" x 2" ANSI 300	Filettati	Acciaio al carbonio
11	18,2	212	0,10	vapore saturo	10	0,2	5	1/2" ANSI 2500	Filettati	Acciaio al carbonio
12	18,2	212	0,10	vapore saturo	10	0,2	5	1/2" ANSI 2500	Filettati	Acciaio al carbonio
13	164,3	350	0,10	Acqua sottoraffreddata	5	0,3	5	1/2" ANSI 2500	Filettati	Acciaio al carbonio
14	164,3	350	0,10	Acqua sottoraffreddata	5	0,3	5	1/2" ANSI 2500	Filettati	Acciaio al carbonio
15	164,3	350	0,10	Acqua sottoraffreddata	5	0,3	5	1/2" ANSI 2500	Filettati	Acciaio al carbonio

Tabella 14 – Valvole di Ritegno

N°	Pressione di progetto, MPa	Temperatura di progetto, °C	Fluido	Diametro e Rating	Attacchi	Materiale corpo
1	17,3	354	Acqua / Vapore	1/2" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inossidabile
2	17,3	354	Acqua / Vapore	1/2" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inossidabile
3	2,0	212	Acqua / Vapore	2 1/2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
4	2,0	212	Acqua / Vapore	2 1/2" ANSI300	Flangiati	Acciaio inossidabile
5	17,3	354	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inossidabile
8	17,3	354	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inossidabile
6	17,3	354	Acqua sottoraffreddata	1 1/4" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio al carbonio opt. SS
7	17,3	354	Acqua sottoraffreddata	1 1/4" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio al carbonio opt. SS
8	17,3	354	Acqua surriscaldata	1 1/2" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio al carbonio opt. SS
9	2,0	212	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
10	2,0	212	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
11	2,0	212	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
12	2,0	212	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
18	2,0	212	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
19	2,0	212	Acqua sottoraffreddata	3/8" ANSI300	Flangiati	Acciaio inossidabile
32	2,0	212	Vapore / aria	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
33	2,0	212	Vapore / aria	1" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile
34	2,0	212	Vapore / aria	1" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inossidabile

Tabella 15 – Valvole di Regolazione

	Diametro e Rating	Fluido	Pressione a monte, MPa (progetto /esercizio)	Pressione di esercizio, MPa (a valle)	Temperatura, °C (Progetto-Esercizio)	Portata massima, kg/s	Materiale corpo
1	2" ANSI 2500	Vapore surriscaldato / saturo	17,25 / 5,5	4,5	353,5 / 300	3,25	Acciaio al carbonio
2	1 1/2" ANSI 2500	Acqua sottoraffreddata	17,25 / 9	6	353,5 / 210	0,8125	Acciaio al carbonio
3	1 1/2" ANSI 2500	Acqua sottoraffreddata	17,25 / 9	6	353,5 / 210	0,8125	Acciaio al carbonio
4	1 1/2" ANSI 2500	Acqua sottoraffreddata	17,25 / 9	6	353,5 / 210	1,625	Acciaio al carbonio
5	3" ANSI 300	Acqua sottoraffreddata	1,6 / 0,3	0,1	100 / 40	0,222	Acciaio al carbonio

Tabella 16 – Valvole manuali a globo

N°	Pressione di progetto, MPa	Temperatura di progetto, °C	Fluido	Diametro e Rating	Attacchi	Materiale del corpo
1	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	4" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
2	2	212,4	Vapore	4" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
3	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inox
4	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
5	17,25	353,5	Acqua / Vapore	3/4" ANSI 2500	Tasca a saldare	Acciaio inox
6	17,25	353,5	Acqua / Vapore	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inox
7	17,25	353,5	Acqua / Vapore	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inox
8	17,25	353,5	Acqua / Vapore	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inox
9	17,25	353,5	Acqua / Vapore	2" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
10	17,25	353,5	Acqua / Vapore	2" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
11	17,25	353,5	Acqua / Vapore	2 1/2" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
12	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
13	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
14	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
15	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
16	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
17	2	212,4	Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
18	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
19	2	212,4	Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
20	2	212,4	Acqua / Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
21	2	212,4	Vapore	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
22	17,25	353,5	Acqua / Vapore	2" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al C / Ottone
23	1,6	100	Acqua sottoraffreddata	2" PN10	Filettati	Acciaio al C / Ottone
24	1,6	100	Acqua sottoraffreddata	2" PN10	Filettati	Acciaio al carbonio
25	1,6	100	Acqua sottoraffreddata	2" PN10	Filettati	Acciaio al C / Ottone
26	1,6	100	Acqua sottoraffreddata	2" PN10	Filettati	Acciaio al carbonio
27	17,25	353,5	Vapore surriscaldato	1" ANSI 2500	Tasca a saldare	Acciaio al carbonio
28	17,25	353,5	Vapore surriscaldato	1" ANSI 2500	Tasca a saldare	Acciaio al carbonio
29	17,25	353,5	Vapore surriscaldato	1" ANSI 2500	Tasca a saldare	Acciaio al carbonio
30	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	4" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
31	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	4" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
32	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	4" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
33	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	4" ANSI 2500	A saldare BW	Acciaio inox
34	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inox
35	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	1" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio inox
36	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inox
37	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inox
38	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inox
39	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inox
40	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio inox
41	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	1/2" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al C / Ottone
42	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
43	2	212,4	Acqua sottoraffreddata	2" ANSI 300	Flangiati	Acciaio al carbonio
44	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	3/4" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al carbonio
45	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	3/4" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al carbonio
46	17,25	353,5	Acqua sottoraffreddata	3/4" ANSI 2500	Flangiati	Acciaio al carbonio

Il valore complessivo stimato da SIET assomma a Euro 461.000, IVA esclusa, valore calcolato sulla base di offerte da fornitori di fiducia (maggio 2013), tenendo conto delle attività di procurement.

8.7 Montaggio del piping e delle valvole

Per il montaggio in opera di piping & fittings di cui al paragrafo 8.5 e di tutte le valvole di cui al paragrafo 8.6, è stato calcolato da SIET un valore complessivo di 265.000 €, IVA esclusa.

Tale valutazione include controlli non distruttivi e coibentazione delle tubazioni; per la parte prefabbricazione/saldature/montaggio in opera si basa su un' offerta del giugno 2013, mentre per attività complementari, quali controlli non distruttivi e coibentazione si è fatto ricorso a valutazioni basate sull'esperienza.

8.8 Approvvigionamento ed installazione della strumentazione e del sistema acquisizione dati

La facility SPES-3 deve essere dotata di idonea strumentazione per il rilievo dei parametri caratteristici dell'impianto e per la loro registrazione ed elaborazione durante l'effettuazione degli esperimenti. E' richiesta la misurazione di n. 601 grandezze fisiche, come dettagliato nella tabella 20 sotto riportata. Nella tabella 17 sono anche indicate le tipologie di strumenti considerati.

Tab. 17 - Strumentazione SPES-3

Grandezza Fisica	Numero	Strumenti	Note
Pressione	198	trasmettitori di pressione relativa o differenziale, a span variabile	n. 37 pressione relativa + n. 161 pressione differenziale Sono incluse le misure impiegate su misuratori di portata a pressione differenziale
Temperatura	242	Termocoppie di tipo K	n. 175 temperature di fluido + n. 67 temperature di parete metallica Sono escluse n. 80 temperature del fascio di barre riscaldanti, il cui costo è incluso nel attività di ripristino del fascio
Portata di Fluido	59	Orifizi, Venturimetri, Turbine	Sono escluse le portate di fluido bifase
Grandezze elettriche	13	Wattmetri, shunt, voltmetri	n.1 potenza + n.9 corrente + n.3 tensione
Spostamenti lineari ed angolari	93	LVDT e Potenzimetri	-----
TOTALE MISURE	605		

Per la registrazione ed elaborazione dei segnali della strumentazione è necessario l'approvvigionamento di un sistema di acquisizione e elaborazione dati dotato di schede per un totale di n. 768 canali. La valutazione economica di tutte le voci relative alla strumentazione e sistema di acquisizione dati è riassunta nella tabella 18 ed include il valore del materiale e delle attività di procurement, taratura, installazione e cablaggio. Il valore complesso stimato da SIET corrisponde a Euro 1.240.000, IVA esclusa.

Tabella 18 – Valutazione Economica Strumentazione & DAS

FACILITY SPES-3		STRUMENTAZIONE & ACQUISIZIONE DATI						
#	Grandezza Fisica Misurata	Numero Strumenti / Canali SAD	Strumenti / Schede SAD, €	Materiali Accessori €	Procurement €	Taratura €	Installazione & Cablaggio €	Totale, €
1	Pressione (a, b)	198	204.131	91.508	13.563	56.430	80150	445.782
2	Temperatura, (c, d)	242	15.972	16.464	16.577	45.980	78.795	173.788
3	Portata Fluido (e)	59	127.050	-	8.083	105.787	27.643	268.563
4	Grandezze Elettriche (f)	13	4.191	363	2.740	7.436	3.718	18.448
5	Spostamenti Lineari e Angolari	93	13.504	9.207	6.371	8.835	15.550	53.466
6	TOTALE MISURE	601	346.949	108.985	46.991	220.585	203.192	926.702
7	Sistema Acquisizione Dati	768	106.445	10.138	8.289	57.475	97.254	279.600
8	TOTALE GENERALE		471.293	127.679	55.622	281.943	303.110	1.239.647

8.9 Riepilogo della valutazione economica

La tabella sotto riportata riepiloga le voci di valutazione economica illustrate nei paragrafi precedenti.

Tabella 19 – Valutazione Economica per il completamento di SPES-3

Descrizione	Valore (IVA Esclusa) €
Ripristino del canale di potenze SPES-2	780.000
Realizzazione ed installazione del canale di potenza SPES-3	2.300.000
Manutenzione pompe di ricircolo	40.000
Approvvigionamento downcomer	300.000
Approvvigionamento di piping & fittings	196.000
Approvvigionamento delle valvole	461.000
Montaggio del piping e delle valvole	265.000
Approvvigionamento / installazione strumenti /SAD	1.240.000
TOTALE	5.582.000

In considerazione del grado di approssimazione delle valutazioni effettuate, si ritiene che l'incertezza associata al costo totale per il completamento di SPES-3 sia dell'ordine del 10%.

9. TEMPI PER IL COMPLETAMENTO DEL PROGETTO

Il tempo per il completamento della facility è stimato in circa 2,5 anni. Nella figura 11 è riportato una programma temporale con le principali linee di attività del progetto.

10. CONCLUSIONI

Questo documento ha preso in esame la fattibilità tecnico-economica di un nuovo progetto per l'impianto SPES-3 che preveda l'utilizzo di componenti precedentemente utilizzati sulla facility SPES-2: canale di potenza e pompe di ricircolo. I componenti presi in esame si rivelano idonei, per le caratteristiche tecniche, alla sostituzione degli omologhi componenti previsti originariamente: le pompe eventualmente poste in parallelo garantiscono la prevalenza e la portata necessarie, la maggiore potenza specifica delle barre riscaldate SPES-2 sopperisce al minor numero di elementi rispetto all'originale. Da un punto di vista meccanico e di lay-out non vi sono particolari preclusioni all'utilizzo dei componenti sopraelencati. Un progetto di massima è stato redatto con l'emissione di disegni tecnici, qui riportati, che illustrano gli accorgimenti previsti per la connessione del riser SPES-2 al tratto intermedio del canale di potenza originariamente progettato e per come le pompe possano essere collegate attraverso linee ad hoc al complesso sistema di distribuzione posto nella zona superiore del canale di potenza. Dal punto di vista della simulazione termoidraulica c'è invece una problematica legata alla presenza di maggiori perdite di carico nel tratto riscaldato del canale di potenza. Ciò è dovuto al diverso fattore di scalatura esistente fra le due facility che si palesa in una minore area di passaggio attraverso il fascio di barre. Il conseguente aumento di perdite di carico non causa particolari problemi quando le pompe sono in funzione ma provoca una diminuzione di portata in circolazione naturale rispetto al progetto originale. La conseguente minor efficacia dello scambio termico fra fluido primario e fascio di barre potrebbe provocare, in alcuni dei transitori incidentali previsti, un anticipato raggiungimento della crisi termica.

Nel caso si decidesse di proseguire con la configurazione qui prospettata si consiglia un accurato esame del fenomeno attraverso ulteriori simulazioni con codici di calcolo.

Da un punto di vista economico il nuovo progetto prevede un risparmio di circa il 35% rispetto a quanto calcolato in [15] per la configurazione originale mentre i tempi di realizzo dell'impianto si possono considerare analoghi.

Il risparmio è dovuto principalmente al mancato esborso per l'approvvigionamento del fascio di barre, componente particolarmente oneroso. E' doveroso considerare però che in questa sede non è stato preso in considerazione il possibile risparmio economico sulle varie voci di spesa analizzato nel par. 5.9 di [15] che per l'opzione qui analizzata sarebbe riproducibile solo in piccola parte. In questo caso il divario fra i costi scenderebbe drasticamente rendendo indispensabile un serio approfondimento del rapporto fra il risparmio eventualmente conseguibile e le indubbe complicazioni di natura termoidraulica che si instaurerebbero con la nuova configurazione.

11. RIFERIMENTI

- [1] ENEA ADPFISS-LP1-009 “Fattibilità di una diversa configurazione della facility SPES3”, 18/9/2013
- [2] ENEA FPN-P9LU-029 (SIET 01334RT07), “Conceptual design of the SPES3-IRIS facility”, 5/9/2008
- [3] ENEA FPN-P9LU-029 (SIET 1488ST09), “Impianto SPES3 - Progetto esecutivo: Elenco elaborati”
- [4] SIET 1519ST09, “Specifica tecnica per la progettazione esecutiva del Canale Centrale del simulatore sperimentale del reattore IRIS
- [5] SIET 01556 ED 10, “Dossier di progettazione del canale centrale dell’impianto SPES-3: Elenco documenti”, 29/03/10
- [6] SIET 01593 ED 10, “Dossier di progettazione del canale centrale dell’impianto SPES-3: Specifiche e Relazioni”, 29/03/10
- [7] SIET 01594 ED 10, “Dossier di progettazione del canale centrale dell’impianto SPES-3: Disegni”, 29/03/10
- [8] SIET 01595 ED10, “Dossier di progettazione del canale centrale dell’impianto SPES-3: Note e rapporti di calcolo”, 29/03/10
- [9] SIET 01595 ED, “Dossier di progettazione del canale centrale dell’impianto SPES-3: Note e rapporti di calcolo”, 29/03/10
- [10] ENEA FPN-P9LU-031 (SIET 01487ST09): “Impianto SPES3 – progetto esecutivo: dimensionamento e caratteristiche delle tubazioni”, 25/03/09
- [11] SIET 01662 RT10, “Impianto SPES3 – Design Review del Piping”, 24/09/10
- [12] ENEA FPN-P9LU-032 (SIET 01466ST08): “Impianto SPES3 – progetto esecutivo: dimensionamento e caratteristiche delle valvole”, 25/03/09
- [13] ENEA FPN-P9LU-033 (SIET 01455ST08), “SPES3-IRIS: Caratteristiche tecniche della strumentazione e del sistema di acquisizione dati, regolazione e controllo dell’impianto”, 13/03/09
- [14] SIET 01559 ST09, “Progettazione Canale Centrale SPES3: Installazione strumentazione”, 23/03/10
- [15] SIET 02118 VE13, “Valutazione dei costi per la realizzazione della configurazione originale della Facility SPES-3 presso la SIET – parte B” 30/08/13