

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



**Politecnico
di Torino**

Sviluppo e implementazione di un configuratore per serbatoi in pressione saldati in acciaio al carbonio mediante **SolidWorks**

Relatore:

Prof. Nicolò Zampieri

Candidato:

Vincenzo Anniballo

Azienda Ospitante:

Baglioni S.p.a.

Tutor Aziendale:

Ing. Flavia Tolla

Ottobre 2024

Sommario

Il presente elaborato analizza lo sviluppo e l'implementazione di uno strumento progettato per ottimizzare la creazione e il controllo delle tavole tecniche relative alla personalizzazione di serbatoi standard a catalogo in acciaio al carbonio saldati, utilizzati per l'accumulo di fluidi compressi, prodotti dal gruppo Baglioni. L'azienda, dopo aver sviluppato internamente un primo strumento per un numero limitato di prodotti, ha richiesto la creazione di una nuova soluzione con funzionalità simili, ma progettata per gestire una gamma di prodotti più complessi e diversificati. Il lavoro inizia con un'analisi approfondita del contesto aziendale e prosegue con lo studio del quadro normativo europeo e americano che regola il settore di riferimento.

Attraverso l'applicazione della metodologia del Design Thinking, sono stati esaminati i principali aspetti del processo aziendale, e sono state sviluppate soluzioni collaborative che hanno coinvolto diverse figure interne. Questo approccio ha consentito di affrontare il problema proposto in maniera multidisciplinare, assicurando una visione completa delle esigenze aziendali. Il progetto ha portato alla realizzazione di un configuratore personalizzato per SolidWorks, specificamente progettato per una famiglia di prodotti, conforme alla Direttiva europea e integrato per garantire il rispetto del codice di calcolo italiano.

Tra i principali risultati ottenuti si evidenzia un significativo miglioramento dell'interfaccia utente del configuratore, che ne ha reso più intuitivo l'utilizzo, l'introduzione di controlli avanzati specifici per la famiglia di prodotti e lo sviluppo di un modello più flessibile. Inoltre, la tavola tecnica prodotta dal configuratore è stata uniformata secondo i più recenti standard aziendali, migliorando l'integrazione dello strumento.

Grazie alle competenze acquisite durante il progetto, è stato possibile redigere uno studio di fattibilità per valutare ulteriori implementazioni future in altri ambiti aziendali. Questo studio delinea nuove opportunità per estendere l'utilizzo del configuratore ad altre famiglie di prodotti, aprendo la strada a ulteriori miglioramenti aziendali.

In conclusione, il lavoro ha portato all'automazione del processo di progettazione nel contesto aziendale specifico, grazie all'implementazione di un configuratore avanzato. Questo strumento ha ottimizzato la gestione dei progetti di personalizzazione, accelerato i tempi di esecuzione e garantito la conformità alle normative di riferimento, contribuendo significativamente all'efficiamento dei processi aziendali.

Indice

1	Presentazione aziendale	1
1.1	Storia	1
1.2	Missione e Valori	2
1.3	Prodotti e Servizi	4
1.3.1	Standard Pressure Vessels	4
1.3.2	Special Pressure Equipment	4
1.3.3	Oil & Gas Products	5
1.4	Performance e Risultati	7
1.5	Aziende del gruppo	8
1.5.1	Astra Refrigeranti	8
1.5.2	Air Com	10
1.5.3	Morganton	10
1.5.4	CSC	11
1.6	Certificazioni	12
1.7	Innovazione e Sostenibilità	12
1.7.1	Idrogeno	12
1.7.2	Nucleare	15
1.7.3	Digitalizzazione	15
2	Quadro normativo	17
2.1	Direttiva PED 2014/68/UE	17
2.1.1	Art. 1: campo di applicazione	18
2.1.2	Art. 2: definizioni	19
2.1.3	Art. 4: requisiti tecnici	20
2.1.4	Allegato I: requisiti essenziali di sicurezza	20
2.1.5	Art. 13: classificazione dei fluidi	22

2.1.6	Allegato II: tabelle di valutazione della conformità	22
2.1.7	Allegato III: procedure di valutazione della conformità	23
2.2	Raccolta V.S.R. Rev. 95 Ed. 99	26
2.2.1	VSR.1.B: sollecitazione massima ammissibile	26
2.2.2	VSR.1.C: spessori minimi delle pareti	27
2.2.3	VSR.1.D: fasciami cilindrici sottoposti a pressione interna	28
2.2.4	VSR.1.E: fondi curvi	29
2.2.5	VSR.1.K: aperture sulle pareti a pressione interna	30
2.3	ASME BPVC Sect. VIII Div. 1 Ed. 2023	37
2.3.1	Struttura del codice	37
2.3.2	Sottosezione A: requisiti generali (UG)	38
2.3.3	Sottosezione B: requisiti di fabbricazione (UW)	42
3	Design Thinking	44
3.1	Introduzione alla metodologia	44
3.2	Raccolta dati	45
3.2.1	Descrizione della famiglia PEDC009V0	46
3.2.2	Dati qualitativi	47
3.2.3	Dati quantitativi	50
3.3	Definizione del problema	52
3.4	Ideazione	54
3.4.1	Prioritizzazione	54
3.5	Prototipazione	55
3.5.1	Configuratore PEDC009V0	56
3.6	Testing	57
3.6.1	Validazione del prodotto	58
3.6.2	Validazione del processo	58
3.7	Implementazione	59
4	Configuratore per la famiglia di diverse taglie di recipienti in pressione per accumulo di gas compressi	60
4.1	Introduzione al sistema di configurazione	60
4.1.1	Descrizione della famiglia PEDC010V0	61
4.2	Caratteristiche del configuratore	62
4.2.1	Architettura del database	63
4.2.2	Procedura di ricerca delle varianti	64

4.2.3	Automatizzazione della compilazione dei parametri standard	65
4.2.4	Opzioni di personalizzazione del serbatoio	70
4.2.5	Procedure di controllo	71
4.2.6	Esportazione e integrazione dei dati	77
4.3	Progettazione dei modelli 3D	80
4.3.1	Implementazione delle parti configurate	80
4.3.2	Ottimizzazione dei sottoassiemi	82
4.3.3	Strategie di gestione dell'assieme	83
4.3.4	Preparazione delle tavole tecniche	83
4.4	Validazione del configuratore	84
4.4.1	Obiettivi e strategie di validazione	84
4.4.2	Caso Studio	86
5	Potenziali implementazioni	88
5.1	Tabella commerciale	88
5.2	Implementazioni del configuratore sviluppabili	89
5.3	Analisi di fattibilità del configuratore in ambiente ASME	91
5.3.1	Scopo	92
5.3.2	Vantaggi	92
5.3.3	Limiti	93
5.3.4	Progettazione dei modelli 3D	93
5.3.5	Implementazioni in VBA	94
5.3.6	Considerazioni finali	94
6	Conclusioni	95
A	Guida all'uso e manutenzione del configuratore	97
B	Tavole tecniche	116
	Bibliografia	120

Capitolo 1

Presentazione aziendale

La Baglioni SpA è il gruppo industriale italiano d'eccellenza nella produzione di recipienti in pressione per i gas compressi e opera fin dal 1968 in Piemonte. Il gruppo ha all'attivo 10 stabilimenti, quasi 1000 dipendenti e mantiene circa 50 certificazioni¹ che garantiscono un elevato standard qualitativo dei processi aziendali e dell'erogazione dei prodotti e servizi.

1.1 Storia

Alfredo Baglioni nel 1968 fonda la società "C.M. Contenitori Metallici Srl" a San Pietro Mosezzo (Novara), specializzata nella produzione di serbatoi in pressione in unità specializzate e dedicate. All'epoca fu un'intuizione innovativa, visto che questi manufatti venivano realizzati in officine di carpenteria generica, senza attenzione alle caratteristiche degli acciai e alle norme di collaudo.

Il successo ottenuto dette rapido avvio all'apertura di altre unità produttive con una precisa logica di specializzazione per tipologia e dimensione di prodotto. Nel 1970 nacque la CSC (Costruzione Serbatoi Collaudati) di Terruggia, nel 1981 l'Air Com e nel 1988 la SIAP in Francia. A seguito della prima direttiva comunitaria, nello stesso anno il gruppo ottiene la certificazione CE per la distribuzione dei propri prodotti in Europa.

¹Il Gruppo Baglioni detiene circa 10-15 tipologie di certificazioni, tuttavia il numero complessivo dei certificati attualmente in essere è di circa 50, poiché ogni stabilimento è qualificato con certificazioni specifiche in base alle proprie competenze e alle normative locali applicabili.

Nel 2000 viene finalizzata la prima vendita in Cina tramite la fornitura di prodotti a filiali locali dei principali clienti europei. Nel 2001 circa il 50% di tutti i serbatoi per compressori venduti in Europa sono di produzione della Baglioni[1], dunque l'anno successivo il gruppo entra nel mercato degli *Special Pressure Equipment* (SPE). Nel 2003 viene aperto il sito produttivo in Cina e nel 2009 entra nel mercato statunitense con lo stabilimento di MPV Morganton Pressure Vessels in North Carolina.

Nel 2010 viene aperto il secondo stabilimento a Shanghai (Cina) per la produzione di Special Pressure Equipment *ad hoc* per il mercato asiatico. Nel 2013 il gruppo acquisisce, in Air Com, engineering e impianti provenienti da COMEI un'azienda specializzata in apparecchiature per impianti criogenici. Nel 2016 viene acquisito il 100% di Astra Refrigeranti, da 70 anni presente sul mercato Gas & Air Coolers, oltre che di S&T tradizionale. Vista l'espansione degli ultimi anni il gruppo si organizza in tre divisioni di prodotto:

- SPV: Standard Pressure Vessels;
- SPE: Special Pressure Equipment;
- O&G: Oil & Gas Products.

Nel 2018 avviene la chiusura dello stabilimento SIAP in Francia e diverse riorganizzazioni interne. Nel 2021 a seguito del covid viene accorpata la produzione in Cina nel nuovo stabilimento in Jiaxing e progressivamente vengono chiusi gli altri due stabilimenti a Shanghai. Infine nel 2022 e nel 2023 avvengono diversi ampliamenti nei siti produttivi italiani e l'avviamento del nuovo plant per la divisione SPE a San Pietro Mosezzo in via Verdi.

Il gruppo Baglioni si è sempre distinto per una continua politica di espansione e di investimenti in risorse umane, impianti e tecnologia. Nella figura 1.1² si riporta un breve riassunto della storia descritta di cui sopra.

1.2 Missione e Valori

Il gruppo Baglioni si sviluppa attraverso una crescita internazionale con l'idea che a costituirla non sia solo un gruppo di aziende ma, soprattutto, un gruppo di persone animate dalla condivisione dei comuni valori aziendali. Infatti lo spirito di squadra e

²L'immagine è tratta da [2].

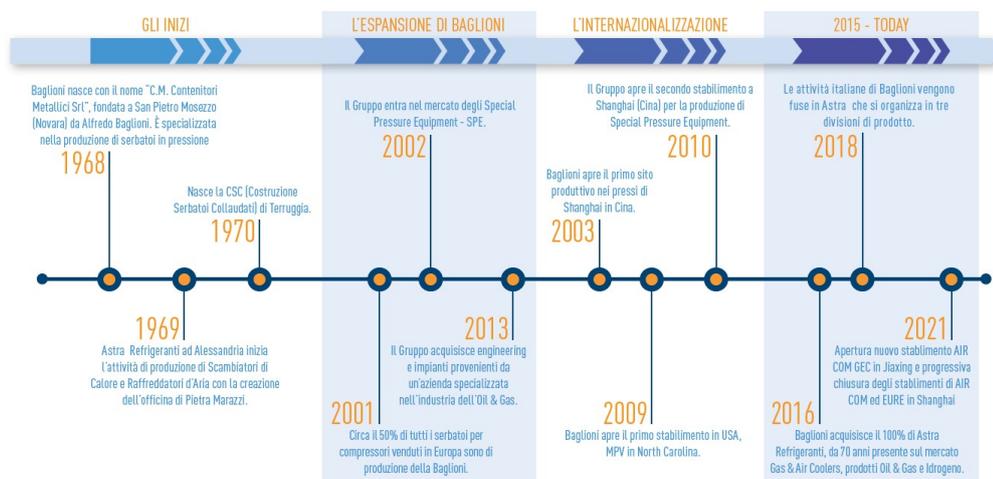


Figura 1.1: La storia del gruppo Baglioni

la capacità di lavorare per obiettivi comuni, con un atteggiamento sempre aperto al confronto, sia all'interno che all'esterno dell'azienda, sono alla base dell'approccio aziendale.

Questi valori comuni vedono poi la naturale soddisfazione del cliente attraverso professionalità ed innovazione. Il management pone grande attenzione alla crescita del personale, offrendo l'opportunità di collaborare con aziende leader nei mercati italiano e internazionale e di sviluppare competenze e capacità personali di alto livello in questi contesti.

Il gruppo si qualifica per una filosofia comune di approccio al lavoro e alle nuove sfide, valorizzando le radici e la tradizione italiana. Grazie all'esperienza nel settore si punta sempre a rendere più competitivi i clienti che si affidano al gruppo per ottenere soluzioni nuove e innovative in campo logistico, di prodotto e di processo.

Mediante la produzione locale si cerca di minimizzare i costi di produzione e di trasporto coprendo in questo modo l'intera gamma di prodotti, dagli standard ai custom made. Inoltre in base all'area geografica e alle specifiche del cliente, si progettano prodotti secondo approvazioni dedicate e, se necessario, con più certificazioni simultanee.

Garantire la puntualità e sviluppare velocemente una soluzione è da sempre una priorità per il gruppo. Grazie al project management e alla flessibilità di adattamento sulle diverse esigenze del cliente ogni giorno si lavora per rispettare tali obiettivi.

L'internazionalizzazione è da sempre un obiettivo strategico e la diversificazione permette di cogliere molte opportunità, mantenendo forte il legame con le produzioni

storiche. Con una presenza diffusa in vari paesi si assicura ai clienti un servizio sempre competitivo, garantito dall'ingegneria centralizzata in Italia e la produzione flessibile locale con tutte le certificazioni necessarie per essere un marchio globale e mantenere gli stessi standard qualitativi.

1.3 Prodotti e Servizi

Il gruppo è strutturato in divisioni specializzate in diversi prodotti, di seguito si approfondisce l'offerta proposta ai clienti.

1.3.1 Standard Pressure Vessels

La divisione Serbatoi è specializzata nella produzione di recipienti a pressione, progettati e realizzati in accordo alle direttive europee applicabili o secondo le principali normative internazionali. La produzione è caratterizzata da un'ampia gamma di prodotti (figura 1.2) in acciaio al carbonio e acciaio inox, tutti adatti per diverse applicazioni:

- serbatoi small-size;
- serbatoi verniciati;
- serbatoi over-size;
- serbatoi zincati;
- serbatoi per vuoto;
- serbatoi per ossigeno;
- serbatoi per idrogeno;
- serbatoi con vernicitura interna;
- serbatoi per alta pressione;
- serbatoi per autoclave;
- serbatoi in acciaio inox.

1.3.2 Special Pressure Equipment

La divisione Special Pressure Equipment è specializzata nella progettazione e costruzione di serbatoi fuori standard su specifica esigenza del cliente. La produzione è gestita su commessa singola o ripetuta, i settori di applicazione variano dalla produzione e trattamento dell'aria compressa, all'alta pressione, alla filtrazione.

La Divisione è organizzata con stabilimenti produttivi dedicati in Europa, Stati Uniti e Cina e il servizio di fornitura è orientato al Business to Business verso clientela



Figura 1.2: Principali prodotti SPV a catalogo

industriale. La gamma di prodotti (figura 1.3) comprende acciaio al carbonio specifico e le installazioni di componenti in acciaio inox nel settore dell'aria compressa:

- custom vessels;
- pressure vessels;
- air/oil separators;
- filters;
- dryers;
- PSA - Pressure Swing Absorption;
- blowers.

1.3.3 Oil & Gas Products

La divisione Oil & Gas del gruppo Baglioni è specializzata nella progettazione e costruzione di recipienti a pressione e scambiatori di calore (figura 1.4), rispondendo alle esigenze specifiche del mercato. Questa linea di prodotti rappresenta l'ultima evoluzione dell'offerta dell'azienda, concepita per soddisfare le richieste di un settore altamente specialistico. Il gruppo ha consolidato rapporti strategici con i principali attori del mercato, grazie alla sua esperienza e capacità di adattarsi alle esigenze di un settore in continua evoluzione. La produzione Oil & Gas copre:



Figura 1.3: Principali prodotti SPE a catalogo

- serbatoi a pressione³;
- scambiatori di calore³;
- refrigeratori d'aria⁴;
- condensatori di vapore;
- refrigeratori di gas compressi;
- sistemi di raffreddamento.

Flessibilità, R&D e competenza sono gli elementi che la rendono una realtà efficiente nel supportare le esigenze dei clienti sia con prodotti standard che con soluzioni personalizzate. Il gruppo Baglioni tratta un'ampia gamma di materiali da costruzione quali:

- acciaio al carbonio;
- acciaio inox;
- basso legati;
- duplex;
- super duplex;
- incoloy;
- hastelloy;
- titanio;

³Pressioni d'esercizio fino a 550 bar e temperature d'esercizio fino a 600 °C

⁴Pressioni d'esercizio fino a 450 bar e temperature d'esercizio fino a 350 °C



Figura 1.4: Principali prodotti Oil&Gas

- leghe di rame;
- alluminio e altri materiali non ferrosi.

1.4 Performance e Risultati

La società nel 2023 ha fatturato 165 milioni di euro, di cui il 60% provenienti dalla produzione di serbatoi (SPV), il 25% dagli SPE e il restante da O&G ⁵. Degno di nota è il risultato ottenuto da quest'ultima divisione, che dopo un anno difficile per motivi geopolitici è riuscita a fatturare un 56% in più rispetto all'esercizio precedente [2].

Per quanto riguarda la produzione di serbatoi della divisione SPV i dati mostrano un leggero aumento, mantenendo solida la porzione di mercato conquistata negli anni, sia a livello europeo, dove si riconferma una delle realtà più grandi nel settore, sia a livello internazionale. Tracciare le vendite a livello geografico non è semplice, ma circa il 70% delle vendite è verso il mercato non italiano, confermando come il marchio sia ormai un punto di riferimento per le aziende del settore.

⁵I dati riportati sono stati richiesti al development manager del gruppo Baglioni.

1.5 Aziende del gruppo

Dal punto di vista organizzativo il Gruppo Baglioni è costituito da una società capo-gruppo, la Baglioni S.p.A., la quale controlla tutte le aziende consociate per mezzo di *Strategic Business Unit* (SBU). Ogni SBU ha un suo responsabile che riporta direttamente all'alta direzione.

A Supporto delle SBU e dell'alta direzione esistono le seguenti Funzioni:

- finanza, controllo di gestione e risorse Umane;
- sicurezza e ambiente;
- ingegneria;
- qualità;
- acquisti;
- industrial R&D.

Le attività svolte da queste funzioni consistono principalmente nella gestione e supervisione della progettazione, nella gestione degli approvvigionamenti, della sicurezza, dell'ambiente, nello sviluppo di tecnologie di produzione o progetti speciali, nel controllo di gestione e nello sviluppo, supervisione e mantenimento del sistema qualità.

È importante sottolineare come il sistema di gestione della qualità sia totalmente integrato tra la Baglioni in quanto sede operativa e i plant di Astra e CSC.

1.5.1 Astra Refrigeranti

L'unità produttiva Astra è specializzata nella produzione di soluzioni per il trasferimento di calore e recipienti a pressione fuori standard su specifica esigenza del cliente per i mercati:

- aria compressa industriale;
- hobbistica;
- agricoltura;
- refrigerazione industriale;
- automotive;
- Oil & Gas;
- idrogeno.

In particolare, l'unità è strutturata in cinque stabilimenti produttivi:

- Stabilimento di San Pietro Mosezzo (Via Leopardi, Novara):
 - produzione di separatori aria olio per compressori a vite;
 - filtri di linea;
 - dryer ad assorbimento;
 - serbatoi speciali di piccola e media grandezza⁶.

Lo stabilimento è anche la sede della divisione SPE che coordina tali attività nel gruppo.

- Stabilimento di San Pietro Mosezzo (Via Dante Alighieri, Novara):
 - produzione di serbatoi speciali personalizzati di medie e grosse dimensioni⁶;
 - serbatoi per applicazioni ad alta pressione;
 - verniciatura a polvere e liquido;
 - assemblaggio di componentistica sui serbatoi.
- Stabilimento di Corigliano d'Otranto (Lecce):

Inizialmente, l'impianto era specializzato nella produzione di contenitori in acciaio inossidabile per l'olio. Negli anni, ha subito una trasformazione significativa, ampliando le sue attività per includere la produzione di recipienti a pressione e, più recentemente, ha iniziato a collaborare con la divisione SPE, in seguito al trasferimento di parte della produzione dallo stabilimento cinese.
- Stabilimento di Galliate (Novara): in cui ha sede la divisione Oil & Gas, con la produzione di:
 - scambiatori di calore a fascio tubiero;
 - air cooler;
 - air chillers.
- Stabilimento di Casalvolone (Novara): produzione di serbatoi di media taglia per il mercato dell'aria compressa.

⁶I prodotti in oggetto sono realizzati in piccoli lotti e sviluppati in base alle esigenze specifiche del cliente.

La produzione è orientata al B2B principalmente verso produttori dell'area EMEA (*Europe, Middle East, and Africa*). Gli altri mercati sono coperti dagli stabilimenti presenti in Cina e USA.

1.5.2 Air Com

L'unità produttiva Air Com in Cina (Jiaxing)⁷ è specializzata nella fabbricazione di apparecchiature a pressione, serbatoi per il vuoto, contenitori per applicazioni mediche e qualsiasi altro tipo di recipiente d'aria. Inoltre, produce anche serbatoi su misura, realizzati secondo le specifiche esigenze dei clienti.

La principale missione di Air Com in Cina è quella di lavorare sui mercati dell'Asia e del Pacifico, garantendo sempre lo standard di alta qualità a prezzi competitivi.

La produzione è stata divisa in tre settori principali:

- produzione di serbatoi in pressione in acciaio al carbonio e inox;
- special pressure equipment per la produzione di separatori aria/olio;
- flashtank per il recupero del gas refrigerante;
- serbatoi a pressione per gas naturale.

1.5.3 Morganton

Quando si confrontano i processi produttivi tra diverse realtà geografiche, emergono significative differenze culturali e organizzative. In particolare, analizzando le strutture produttive in Italia e in North Carolina, si possono notare distinte filosofie di gestione del personale e dei processi.

In Italia, la centralità del processo produttivo è affidata principalmente alle persone, con operatori spesso indipendenti dal punto di vista tecnico. Al contrario, in North Carolina, l'alta rotazione del personale impone di porre il focus sui processi, garantendo che funzionino in modo efficiente. Questo include mettere le persone a proprio agio, fornire loro training e formazione, e costruire una solida base di conoscenze. Anche le soft skills sono trattate diversamente: in Italia sono enormemente valorizzate per la loro influenza positiva sulla produttività. Negli USA, invece,

⁷Più precisamente situato a Haiyan, nella provincia dello Zhejiang.

gestione, controllo e supporto sono responsabilità del supervisore, con interazioni professionali tra colleghi meno strette e con meno situazioni di confronto reciproco.

L'unità produttiva di Morganton, North Carolina (USA), è specializzata nella produzione di:

- serbatoi a pressione;
- serbatoi per il vuoto;
- serbatoi per applicazioni medicali;
- recipienti speciali in pressione (SPE);

Per i serbatoi la pressione può variare da -15 a 300 psi, per i prodotti speciali da 15 a 1000 psi. Le linee produttive per i serbatoi sono tre: si differenziano per il volume dei serbatoi prodotti, che va dagli 8 galloni (30 L) ai 400 galloni (1500 L), con diametri che variano da 6 pollici (152,4 mm) ai 36 pollici (914,4 mm).

Il reparto dedicato ai recipienti speciali, quali separatori, filtri ed essiccatori è organizzato per commessa o miniserie ed è basato su processi e personale altamente qualificati. Si sviluppa in due aree: la prima dedicata all'assemblaggio e la puntatura dei componenti, la seconda alla saldatura e al collaudo finale.

I serbatoi e i recipienti speciali possono essere consegnati grezzi o verniciati. L'impianto di verniciatura elettrostatica a polvere consente un'efficace gestione dei cambi colore. Il mercato di riferimento è quello nord e sud americano, ma si progettano serbatoi anche secondo le direttive di paesi al di fuori del continente americano.

1.5.4 CSC

L'unità produttiva CSC (*Costruzione Serbatoi Collaudati*) con i suoi due plant è specializzata nella produzione di apparecchiature a pressione e serbatoi per il vuoto.

I prodotti costruiti, oltre al tipo di orientamento se verticale o orizzontale, lavorano con pressioni che vanno da -1 bar (serbatoi per vuoto) a 21 bar. Nello stabilimento ci sono 4 linee produttive integrate di saldatura automatica che si differenziano solo per il diametro del serbatoio, il che rende più veloce il ciclo produttivo e di conseguenza il lead-time di consegna verso i clienti.

Oltre alla possibilità di produrre serbatoi che partono dal 270 L e arrivano al 10.000 L, c'è la possibilità di modificare il prodotto esteticamente mediante verniciatura a

polvere elettrostatica e gestire in pronta consegna tutti i serbatoi standard presenti nel catalogo.

1.6 Certificazioni

Il gruppo Baglioni ritiene fondamentale dotarsi degli appositi strumenti professionali che comprovino la conformità dei propri sistemi di gestione dei processi aziendali a standard dettati da norme tecniche. Per questo motivo, tutti gli stabilimenti di Astra hanno la certificazione ISO 9001 – Certificazione del Sistema di Gestione per la Qualità. Lo stabilimento di Galliate possiede inoltre le certificazioni ISO 14001 - Certificazione del Sistema di Gestione Ambientale e ISO 45001 - Sistemi di Gestione Salute e Sicurezza dei Lavoratori, è sottoposto annualmente ad audit per il rinnovo di tali certificazioni ed è regolato da procedure specifiche per il settore Oil & Gas. La figura 1.5 elenca le attività specifiche, le certificazioni applicabili e l'integrazione del sistema qualità delle varie società del gruppo Baglioni.

Tutti gli altri stabilimenti possiedono numerose certificazioni e standard di conformità applicabili. I principali sono riportati nella tabella 1.1 e tabella 1.2.

1.7 Innovazione e Sostenibilità

1.7.1 Idrogeno

Il gruppo Baglioni è fortemente impegnato nell'innovazione e nella sostenibilità, contribuendo in modo significativo al settore energetico e alla protezione ambientale. La produzione sostenibile di idrogeno è uno dei temi più dibattuti attualmente; il Green Deal Europeo, insieme ai piani energetici di USA, Giappone, Corea del Sud, Australia e Nuova Zelanda, pone l'idrogeno al centro delle loro strategie. In particolare, l'idrogeno *verde* è visto come una soluzione chiave: si tratta di idrogeno prodotto dall'acqua mediante elettrolisi, utilizzando elettricità proveniente da fonti rinnovabili come fotovoltaico ed eolico, senza emissioni di gas serra o altri inquinanti atmosferici.

Il gruppo Baglioni produce apparecchi destinati ad utilizzo dell'idrogeno da oltre vent'anni nel capo dell'Oil & Gas, know-how che gli ha permesso oggi di entrare nel mercato dell'idrogeno verde. Recentemente, l'azienda si è focalizzata sulla costruzione di recipienti a pressione personalizzati per il trattamento del gas, *Balance of Plant*

Presentazione aziendale

SBU	NOME	INDIRIZZO	ATTIVITÀ / PRODUZIONE	CONTROLLO	SUPPORTO	ASSISTENZA/	COMMERCIALE	ASME	PED	ISO	ASME
	BAGLIONI SPA	S. PIETRO MOSEZZO (NO)	PROGETTAZIONE / QUALITÀ / ACQUISTI / FINANZA E CONTROLLO / KNOW HOW INTERNO	X	X	X	X			<input type="checkbox"/>	
SPE	ASTRA AIRCOM SPE	S. PIETRO MOSEZZO (NO)	PRODUZIONE DI SEPARATORI ARIA / OLIO	X	X	X	X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E&P	ASTRA DIVISIONE E&P	GALLIATE (NO)	PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI RECIPIENTI A PRESSIONE E APPARECCHIATURE SPECIALI E OIL&GAS	X	X	X	X	●	●	●	<input type="checkbox"/>
SPV	ASTRA AIRCOM CSV	CASALVOLONE (NO)	STAMPAGGIO FONDI E PRODUZIONE DI RECIPIENTI A PRESSIONE	X	X	X	X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPV	ASTRA COINOX	CORIGLIANO D'OTRANTO (LE)	PRODUZIONI DI RECIPIENTI A PRESSIONE E CONTENITORI D'OLIO	X	X	X	X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPV	CSC	TERRUGGIA (AL)	PRODUZIONE DI RECIPIENTI A PRESSIONE	X	X	X	X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPV	CSC	TICINETO (AL)	PRODUZIONE DI RECIPIENTI A PRESSIONE	X	X	X	X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SPV	AIR COM GEC	JIAXING (CHINA)	"STAMPAGGIO FONDI E PRODUZIONI DI RECIPIENTI A PRESSIONE. PRODUZIONE DI SEPARATORI ARIA / OLIO"	X	X		X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPV	MORGANTON PV	NORTH CAROLINA (USA)	"PRODUZIONE DI RECIPIENTI A PRESSIONE PRODUZIONE DI SEPARATORI ARIA / OLIO"	X	X	X	X			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Legenda: ● = sistema integrato; □ = sistema esistente ma NON integrato)

Figura 1.5: Tabella Certificazioni

(BoP) di elettrolizzatori e altri impianti di produzione di idrogeno. L'impegno del gruppo Baglioni verso l'innovazione tecnologica è sempre con un occhio puntato verso la sostenibilità ambientale, promuovendo soluzioni energetiche pulite e rinnovabili.

In linea con questo impegno, ad aprile 2024 è stato attivato un nuovo stabilimento a San Pietro Mosezzo, che è completamente dedicato all'acciaio inox. Per non compromettere la resistenza alla corrosione dell'acciaio inossidabile, è fondamentale evitare il contatto con altri materiali ferrosi. Questo sviluppo è particolarmente significativo, considerando l'ampio utilizzo dell'acciaio inossidabile nel settore dell'idrogeno. L'ampliamento ha portato i precedenti 300 m² dedicati al trattamento dell'acciaio inox a 6500 m², con conseguente aumento della capacità produttiva di circa il 30%. Inoltre, all'interno dello stabilimento sono presenti dei carroporti in grado di sollevare e spostare fino a 30 t di materiale.

Tabella 1.1: Principali standard internazionali

Main International Standards
Directive 2014/68/UE PED (Ex 97/23/EC)
2014/29/EU Simple pressure vessels Directive
ASME Sect. VIII Div. 1/Div.2-U-U2-R-S Stamp Certified
National Board Registration
CUTR 032 / 010 / 012 EAC (Workshops certified)
AD 2000 HP0 (Workshops Certified)
Canadian Registry Number (CRN)
Australian Standard AS1210
MOM Singapore Regulation
DOSH Malaysia Regulation
Visa: Tunisia / Morocco / Algeria (ARH)
SELO D-A2-Manufacture License Special Equipment (China)
MHLW Japan Regulation
Israeli Standard Regulation
Croatia Registration
SPVR & PER Regulation (UKCA)

Tabella 1.2: Standard marini

Marine Registration of Baglioni Group
ABS American Bureau of Shipping
DNV Det Norske Veritas - GL Germanischer Lloyd
B.V. Bureau Veritas
LRS Lloyd's Register of Naval Ship
RINA Services
CCS China Classification Society
NK Nippon Kaiji Kyokai
RMRS Russian Maritime Register of Shipping
KR Korean Register of Shipping

1.7.2 Nucleare

L'idrogeno rappresenta un elemento chiave nella transizione verso un sistema energetico sostenibile. La sua capacità di adattamento, insieme al potenziale di produzione sostenibile, lo rende un candidato ideale per affiancare altre fonti energetiche, come il nucleare, nel percorso verso la decarbonizzazione. In questo contesto, il nucleare emerge non come la soluzione finale, ma come un compromesso vitale nel mix di fonti energetiche alternative al petrolio.

Il nucleare e l'idrogeno possono lavorare in sinergia per creare un sistema energetico robusto e sostenibile. Questa combinazione permette di ottimizzare l'uso delle risorse energetiche, migliorando l'efficienza complessiva del sistema e riducendo ulteriormente le emissioni di carbonio. Con questo scopo il gruppo Baglioni ha lanciato la nuova divisione Astra Nucleare, area specializzata in ambito nucleare di Astra Refrigeranti, che si focalizzerà su tre direttrici di produzione:

- recipienti metallici per il decommissioning ⁸;
- recipienti a pressione per il mercato nucleare di ultima generazione;
- nel campo degli SMR⁹.

Grazie al nuovo impianto, Astra Nucleare è in grado di produrre scambiatori di calore, recipienti a pressione, air cooler e serbatoi in acciaio inossidabile seguendo i più alti standard qualitativi del settore nucleare tra cui il pieno allineamento ai requisiti ISO 19443 e a tutti gli standard di certificazione internazionali previsti.

La transizione energetica non segue un unico percorso, ma si basa su un approccio diversificato in cui ogni risorsa svolge un ruolo fondamentale.

1.7.3 Digitalizzazione

L'apertura del nuovo stabilimento e l'espansione continua del gruppo pone una sfida logistica e operativa. Gestire un'area di produzione così ampia e altamente specializzata richiede un sistema di monitoraggio e gestione avanzato. È qui che entra in gioco il progetto Camillo e l'adozione di un software di *Manufacturing Execution System* (MES). Un passo cruciale in questo processo è l'implementazione

⁸Disattivazione e smantellamento di impianti a fine esercizio

⁹Reattori a fissione nucleare di piccola taglia e modulari

di un impianto pilota nello stabilimento di Astra Refrigeranti a Casalvolone. Questo approccio consentirà di testare e ottimizzare il sistema in un ambiente controllato prima di estenderlo a tutta la linea produttiva.

Integrando il software MES, si può non solo monitorare in tempo reale l'intero processo di produzione, ma anche analizzare i dati per individuare possibili aree di miglioramento dell'efficienza e della qualità. Inoltre, è stato introdotto nel software un modulo aggiuntivo per il controllo di qualità, in accordo con la direttiva applicabile ai recipienti a pressione.

La digitalizzazione si applicherà anche alla logistica, con l'estensione del progetto Camillo alla gestione delle spedizioni. Questa integrazione digitale semplificherà le operazioni logistiche, consentendo anche di ottimizzare i flussi di lavoro, riducendo i tempi di consegna e i costi associati. In questo modo, la digitalizzazione diventa un pilastro fondamentale della strategia aziendale, consentendo di mantenere alti standard di efficienza, qualità e sostenibilità in un mercato sempre più competitivo e in rapida evoluzione.

Capitolo 2

Quadro normativo

Questo capitolo ha l'obiettivo di delineare il quadro normativo che disciplina la progettazione dei recipienti in pressione, con un particolare approfondimento sulla normativa europea. La Direttiva 2014/68/UE [3], nota come *Pressure Equipment Directive* (PED), stabilisce i requisiti essenziali per assicurare la sicurezza e l'affidabilità delle attrezzature a pressione, identificando i vari ambiti di applicazione e classificando i prodotti in base a specifici criteri tecnici.

Nel contesto della PED, verranno esaminati gli aspetti normativi più rilevanti per lo sviluppo del configuratore implementato. L'analisi si concentrerà sull'elaborazione di un quadro normativo chiaro e strutturato, che ha guidato le scelte progettuali e operative del progetto.

Sarà inoltre esaminata la normativa italiana rappresentata dalla raccolta V.S.R. [4], che integra e completa il quadro normativo europeo, con particolare attenzione agli aspetti di calcolo strutturale e di dimensionamento dei recipienti in pressione. Infine, si farà riferimento al codice BPVC ASME, Sezione VIII, Divisione 1 [5], uno dei principali standard internazionali per la progettazione e la costruzione di apparecchiature a pressione.

2.1 Direttiva PED 2014/68/UE

Il quadro normativo europeo relativo ai recipienti in pressione è regolato principalmente da due direttive di prodotto: la Direttiva 2014/29/UE (*Simple Pressure Vessel Directive*, SPVD) [6] e la Direttiva PED.

La Direttiva SPVD si applica ai serbatoi semplici costruiti in serie, destinati a contenere esclusivamente fluidi come aria o azoto. Questi serbatoi possono essere realizzati solamente in acciaio al carbonio o in alluminio e devono rispettare i seguenti limiti operativi:

- $0,5 \text{ bar} < P \leq 30 \text{ bar}$;
- $50 \text{ bar}\cdot\text{L} < P\cdot V \leq 10000 \text{ bar}\cdot\text{L}$;
- $-50 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 300 \text{ }^\circ\text{C}$ (100 °C se alluminio).

La Direttiva 2014/68/UE stabilisce le norme fondamentali per la progettazione, la fabbricazione e la valutazione della conformità degli apparecchi a pressione. Rispetto alla SPVD, la PED si applica a un campo più ampio di attrezzature, inclusi recipienti a pressione, scambiatori di calore, caldaie, tubazioni e altri componenti soggetti a pressione.

In questa sezione non si intende fornire un'analisi esaustiva della normativa, ma piuttosto concentrarsi sulle informazioni essenziali per contestualizzare il lavoro svolto.

2.1.1 Art. 1: campo di applicazione

I recipienti in pressione analizzati rientrano nel campo di applicazione della Direttiva 2014/68/UE, in quanto operano a una pressione massima ammissibile superiore a 0,5 bar (art. 1, punto 1). Inoltre, poiché non rientrano nei limiti di applicabilità della Direttiva SPVD, essi ricadono sotto quanto previsto dal punto 2, paragrafo c, dell'art. 1 della Direttiva PED.

Le pressioni considerate dalla Direttiva devono essere intese come pressioni relative, con riferimento al vuoto assoluto negativo. La Direttiva PED disciplina l'intero processo di immissione del prodotto sul mercato, coprendo le fasi di progettazione, produzione e valutazione della conformità. Tuttavia, non regola la messa in servizio delle attrezzature e degli insiemi, la quale è demandata agli enti nazionali competenti, come avviene in Italia con il Decreto Ministeriale n. 329 del 2004.

2.1.2 Art. 2: definizioni

Di seguito si riportano le definizioni fornite dall'articolo 2 della Direttiva¹, al fine di garantire una maggiore chiarezza nell'esposizione dei concetti.

- 1) **Attrezzature a pressione:** recipienti, tubazioni, accessori di sicurezza ed accessori a pressione, compresi, se del caso, elementi annessi a parti pressurizzate, quali flange, raccordi, manicotti, supporti, alette mobili.
- 2) **Recipiente:** un alloggiamento progettato e costruito per contenere fluidi pressurizzati; esso comprende gli elementi annessi diretti sino al dispositivo previsto per il collegamento con altre attrezzature[...].
- 4) **Accessori di sicurezza:** dispositivi destinati alla protezione delle attrezzature a pressione contro il superamento dei limiti ammissibili, compresi i dispositivi per la limitazione diretta della pressione, quali valvole di sicurezza[...].
- 6) **Insiemi:** varie attrezzature a pressione montate da un fabbricante per costituire un tutto integrato e funzionale.
- 7) **Pressione:** la pressione riferita alla pressione atmosferica, vale a dire pressione relativa; il vuoto è di conseguenza indicato con un valore negativo.
- 8) **Pressione massima ammissibile (PS):** la pressione massima per la quale l'attrezzatura è progettata[...].
- 9) **Temperatura minima/massima ammissibile (TS):** le temperature minime/massime per le quali l'attrezzatura è progettata, specificate dal fabbricante.
- 10) **Volume (V):** il volume interno di uno scomparto, compreso il volume dei raccordi alla prima connessione ed escluso il volume degli elementi interni permanenti.
- 11) **Dimensione nominale (DN):** la designazione numerica della dimensione comune a tutti i componenti di un sistema di tubazione diversi dai componenti indicati dai diametri esterni o dalla filettatura[...].
- 12) **Fluidi:** i gas, i liquidi e i vapori allo stato puro nonché le loro miscele[...].

¹L'elenco riportato segue la numerazione della Direttiva PED.

- 13) **Giunzioni permanenti:** le giunzioni che possono essere disgiunte solo con metodi distruttivi.
- 17) **Messa in servizio:** la prima utilizzazione di un'attrezzatura a pressione o di un insieme da parte del suo utilizzatore.
- 18) **Fabbricante:** la persona fisica o giuridica che fabbrica attrezzature a pressione o un insieme[...].
- 27) **Valutazione della conformità:** il processo atto a dimostrare il rispetto dei requisiti essenziali di sicurezza della presente direttiva relativi alle attrezzature a pressione o agli insiemi.
- 28) **Organismo di valutazione della conformità:** un organismo che svolge attività di valutazione della conformità, fra cui tarature, prove, certificazioni e ispezioni.

2.1.3 Art. 4: requisiti tecnici

I prodotti oggetto della presente dissertazione rientrano nella categoria descritta al punto 1, paragrafo a, parte i dell'articolo 4. Di particolare rilevanza è il parametro discriminante relativo alla pericolosità di un serbatoio, determinato dal valore di energia immagazzinabile al suo interno. Per i fluidi appartenenti al gruppo 1, la soglia critica è fissata a 25 bar·L. I requisiti essenziali di sicurezza da rispettare sono delineati nell'Allegato I.

Merita particolare attenzione l'articolo 4, punto 3, che stabilisce le procedure da adottare per i recipienti che non raggiungono i valori limite definiti nei punti precedenti. In questo ambito, viene introdotto il concetto di "corretta prassi costruttiva", strettamente legato al principio della presunzione di conformità, che costituisce uno dei fondamenti della direttiva. Inoltre, per questa categoria di prodotti, è possibile non apporre la marcatura CE prevista dall'articolo 18.

2.1.4 Allegato I: requisiti essenziali di sicurezza

Nella presente sezione della normativa, vengono fornite indicazioni tecniche di carattere generale, mentre i dettagli specifici sono demandati alle norme armonizzate. Le principali norme riconosciute dalla direttiva sono:

- ASME BPVC Sect. VIII Div. 1;
- Raccolta V.S.R.;
- AD MK 2000²;
- EN 286;
- EN 13445;
- CODAP³;

Si evidenzia che sono ammesse diverse tipologie di progettazione, tra cui il metodo di calcolo mediante formule, che sarà adottato nel presente progetto. Gli acciai da caldareria sono identificati come quelle leghe che, per proprietà e caratteristiche, risultano specificamente idonee alla costruzione di contenitori destinati al trasporto e allo stoccaggio di fluidi in pressione. Tra gli acciai più comuni in questo ambito vi sono gli acciai ferritici P235, P265, P295, e P355. Per quanto riguarda le parti pressurizzate principali delle attrezzature delle categorie II, III e IV, l'attestato di conformità deve essere costituito da un certificato che prevede un controllo specifico sul prodotto.

Un esempio significativo di acciaio utilizzato in queste applicazioni è l'EN10028-2-P295GH, una lega a base di carbonio-manganese che presenta eccellenti proprietà meccaniche e una notevole resistenza agli ambienti ad alta temperatura. Per quanto riguarda gli acciai ferritici, compresi quelli normalizzati (acciai laminati), la sollecitazione generale ammissibile della membrana per carichi prevalentemente statici e per temperature situate fuori dalla gamma in cui i fenomeni di scorrimento sono significativi non deve essere superiore al più basso dei valori elencati:

- $\frac{2}{3}$ di $R_{e/t}$, limite di elasticità a temperatura di calcolo.
- $\frac{5}{12}$ di $R_{m/20}$, resistenza alla trazione a 20 °C.

La normativa prescrive specifici coefficienti di giunzione che devono essere adottati durante la fase di progettazione per garantire la sicurezza e l'affidabilità delle strutture in base alla tipologia di controlli effettuati. I principali controlli non distruttivi sono le radiografie e gli ultrasuoni per quanto riguarda le analisi interne dei cordoni di saldatura e i liquidi penetranti per i controlli dei difetti più superficiali.

La pressione massima ammissibile viene indicata al punto 7.4 dell'Allegato I, fornendo i parametri per calcolarla.

Infine, i requisiti di duttilità dell'acciaio, stando a quanto stabilito al punto 4.1, lettera a) della Direttiva, devono soddisfare i seguenti criteri:

²Norma tecnica tedesca.

³Norma tecnica francese.

- L'allungamento dopo la rottura, misurato mediante una prova di trazione standard, deve essere pari almeno al 14%.
- L'energia di flessione da urto, misurata con provetta ISO V, deve essere pari almeno a 27 J a una temperatura non superiore a 20 °C, ma non inferiore alla temperatura minima di esercizio prevista.

2.1.5 Art. 13: classificazione dei fluidi

I fluidi sono suddivisi in due gruppi: il gruppo 1, che include sostanze e miscele classificate come pericolose, e il gruppo 2, che comprende tutti gli altri fluidi. Nel caso di recipienti in pressione a più scomparti, si considera il fluido più pericoloso tra quelli contenuti.

Questa suddivisione è essenziale per la classificazione delle attrezzature in pressione in base a criteri di pericolo crescenti. I criteri per determinare la categoria di appartenenza e i relativi moduli di valutazione della conformità sono specificati nell'Allegato II. È importante notare che, nel caso di insiemi, l'elemento più pericoloso determina la categoria dell'intero insieme. Tuttavia, gli accessori di sicurezza, che appartengono sempre alla categoria IV, non influenzano la categorizzazione dell'insieme.

I fluidi contenuti nei serbatoi della gamma di prodotti analizzata appartengono al gruppo 1.

2.1.6 Allegato II: tabelle di valutazione della conformità

L'Allegato II della Direttiva PED fornisce le tabelle di valutazione della conformità, che costituiscono uno strumento essenziale per la classificazione delle attrezzature a pressione. Queste tabelle aiutano a determinare la categoria di rischio e i relativi requisiti normativi a cui i prodotti devono conformarsi. Grazie alla tabella 2.1, Allegato II punto 1, è possibile identificare la categoria dei moduli richiesti per i prodotti in esame.

Nella valutazione specifica dei serbatoi in analisi, è stato determinato che questi rientrano nella categoria IV, che rappresenta una delle categorie più elevate in termini di rischio potenziale e, quindi, richiede un livello di conformità particolarmente rigoroso. Per tale categoria, la normativa prevede l'applicazione di moduli combinati come B+D o B+F.

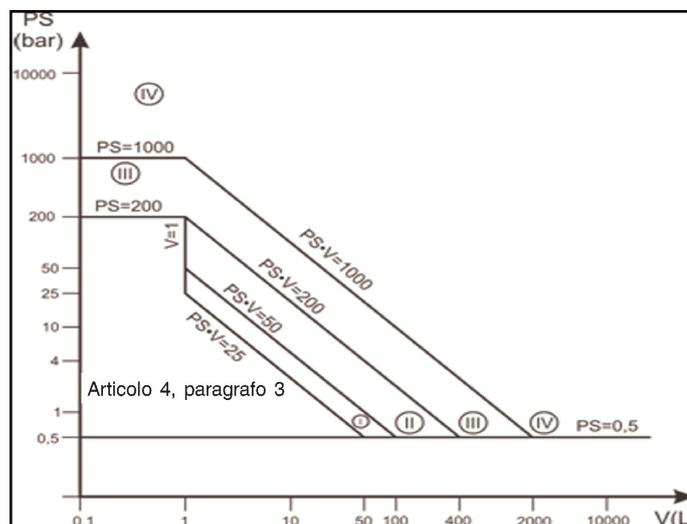


Figura 2.1: Recipienti di cui all'articolo 4, paragrafo 1, lettera a), punto i), primo trattino

2.1.7 Allegato III: procedure di valutazione della conformità

Nel presente allegato vengono delineate le procedure necessarie per garantire la conformità dei progetti alla Direttiva PED. In base alla classificazione riportata nell'Allegato II, vengono definite le procedure da seguire per assicurare che le attrezzature a pressione soddisfino i requisiti essenziali di sicurezza. Le procedure variano in funzione del livello di pericolosità potenziale del prodotto, con una conseguente diversificazione dei controlli da superare. Ai fini della presente tesi, verranno illustrati in dettaglio i moduli B, D, F e G, specificamente applicabili alle attrezzature in pressione di categoria IV.

Modulo B

Il Modulo B, noto come *Esame UE del Tipo*, rappresenta una delle procedure di valutazione della conformità previste dalla Direttiva PED. Questo modulo può essere eseguito secondo due modalità distinte:

1. tipo di produzione;
2. tipo di progetto.

Il Modulo B è essenziale per garantire che le attrezzature a pressione siano progettate e prodotte in conformità con i requisiti essenziali di sicurezza della Direttiva.

Secondo l'approccio basato sul tipo di produzione, l'organismo notificato esamina il progetto tecnico dell'attrezzatura a pressione per verificarne la conformità con la Direttiva PED, con l'obiettivo finale di ottenere la marcatura CE. Questa valutazione non si limita all'analisi della documentazione tecnica fornita dal fabbricante, ma include anche l'esame di un campione rappresentativo della produzione prevista.

Tale campione può coprire diverse varianti di un'attrezzatura a pressione, a condizione che le differenze tra le varianti non influiscano sul livello di sicurezza. L'organismo notificato può richiedere ulteriori campioni qualora lo ritenga necessario per completare il programma di prove. Questo approccio consente l'approvazione di più progetti simili, a condizione che le differenze progettuali non compromettano il livello di sicurezza. In tal modo, è possibile classificare i serbatoi in base a parametri progettuali come pressione, diametro e temperatura, riducendo il numero di richieste di approvazione e ampliando la gamma di prodotti disponibili.

L'esame UE del tipo basato sul tipo di progetto prevede invece la verifica dell'adeguatezza del progetto tecnico dell'attrezzatura a pressione attraverso la documentazione tecnica, ma senza la necessità di esaminare campioni fisici. Tuttavia, questo approccio presenta il limite di non poter essere applicato nei casi in cui il progetto sia basato su un approccio sperimentale.

Modulo D

Il Modulo D descrive la procedura per controllare la conformità al tipo basata sulla garanzia della qualità del processo di produzione. Questa procedura richiede che il fabbricante implementi un sistema di qualità certificato, conforme a standard riconosciuti a livello internazionale, come l'ISO 9001 [7]. Tale sistema deve coprire tutte le fasi della produzione, inclusi il controllo delle materie prime, il processo produttivo, l'ispezione del prodotto finale e le prove di conformità.

L'organismo notificato esamina e approva il sistema di qualità del fabbricante, assicurandosi che sia adeguato a garantire la conformità dei prodotti ai requisiti essenziali di sicurezza. Dopo l'approvazione iniziale, l'organismo notificato effettua una sorveglianza continua, che può includere audit periodici e ispezioni in loco, per verificare che il fabbricante mantenga gli standard previsti nel tempo.

Il Modulo D può essere declinato in versioni più stringenti, come i Moduli H e H1, o in una versione semplificata, il Modulo D1. Il Modulo H rappresenta un livello più elevato di controllo, poiché prevede la certificazione dell'intero sistema di gestione della qualità del fabbricante, comprendendo sia la progettazione che la produzione. Il Modulo H1 è una variante ancora più rigorosa, includendo anche una valutazione aggiuntiva del progetto e un controllo più intensivo da parte dell'organismo notificato. Questo modulo è particolarmente indicato per prodotti ad alta complessità o rischio, dove un controllo rigoroso e integrato di tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto è essenziale.

Il Modulo D1, invece, offre una procedura più snella per attrezzature di categoria II, permettendo l'immissione sul mercato senza la necessità di completare un esame del tipo (Modulo B) seguito da un controllo del sistema di qualità. Questo approccio fornisce maggiore flessibilità per i nuovi progetti meno pericolosi.

Modulo F

Il Modulo F è una procedura di valutazione della conformità che si concentra sulla verifica del prodotto, garantendo che ogni singola unità prodotta sia conforme ai requisiti essenziali di sicurezza stabiliti dalla Direttiva PED. A differenza del Modulo D, che si focalizza sul processo di produzione, il Modulo F prevede un controllo rigoroso e puntuale su ogni singolo prodotto.

L'organismo notificato esegue un'ispezione finale su ciascun esemplare dell'attrezzatura a pressione, verificando che sia conforme al tipo approvato e soddisfi tutti i requisiti di sicurezza. Questa ispezione include la verifica delle caratteristiche fisiche e dimensionali, dei materiali utilizzati e di altri aspetti critici. Ogni attrezzatura è sottoposta a prove tecniche, come test di pressione e test di tenuta, per garantire la sicurezza e la conformità.

Il Modulo F è particolarmente vantaggioso per piccole serie di produzione o per prodotti unici e altamente personalizzati, dove un controllo rigoroso su ogni unità è essenziale. Tuttavia, l'ispezione individuale di ogni prodotto può aumentare i costi e i tempi di produzione, rendendo questo modulo meno conveniente per produzioni di massa o per attrezzature con un basso livello di rischio. Nonostante ciò, il Modulo F offre un alto livello di garanzia sulla sicurezza e conformità di ogni singolo prodotto, risultando particolarmente utile per attrezzature che presentano un rischio significativo o che sono destinate a usi critici.

Modulo G

Il Modulo G, noto anche come *Verifica dell'Unità*, è applicabile quando il prodotto è fabbricato in singoli esemplari o in piccole serie, oppure quando si tratta di prodotti particolarmente complessi o ad alto rischio. A differenza del Modulo F, che si concentra principalmente sulla verifica del prodotto finito, il Modulo G include anche una valutazione completa del progetto tecnico.

L'organismo notificato esamina la documentazione tecnica e il progetto del prodotto per assicurarsi che tutti i requisiti essenziali di sicurezza siano soddisfatti. Questa verifica include un'analisi dettagliata dei materiali, delle dimensioni, delle procedure di produzione e dei rischi associati al prodotto. Ogni unità viene sottoposta a prove specifiche, come test di pressione e di resistenza meccanica, per garantire che l'unità sia conforme alle specifiche di progetto e sia sicura per l'uso previsto.

Se l'unità soddisfa tutti i requisiti, l'organismo notificato rilascia un certificato di conformità per quella specifica unità. Questo certificato attesta che il prodotto è stato sottoposto a verifica completa ed è conforme ai requisiti essenziali di sicurezza. Il Modulo G è particolarmente adatto per prodotti unici, complessi o particolarmente critici, dove la conformità non può essere garantita attraverso il solo controllo del processo produttivo.

2.2 Raccolta V.S.R. Rev. 95 Ed. 99

La Raccolta V.S.R. è la principale normativa italiana relativa alla progettazione e costruzione dei recipienti in pressione. Essa integra la Direttiva PED 2014/68/UE, fornendo specifiche tecniche e criteri di calcolo che devono essere rispettati per garantire la sicurezza e l'affidabilità delle attrezzature a pressione. Di seguito verranno analizzati i capitoli più rilevanti della Raccolta ai fini della tesi, con un focus sugli aspetti strutturali e di dimensionamento.

2.2.1 VSR.1.B: determinazione della sollecitazione massima ammissibile

La sollecitazione massima ammissibile per i recipienti in pressione in acciaio operanti a temperature medie di parete superiori ai 50°C è calcolata attraverso l'equazione 2.1 in accordo con quanto indicato nell'Allegato I della Direttiva PED.

$$f = \frac{R_{p(0,2)/t}}{1,5} \quad (2.1)$$

Il carico ammissibile non deve superare il limite di $f = R_m/2,4$. Tuttavia, in determinate condizioni specificate al punto 2.3.1 della Raccolta, tale valore può essere incrementato fino a $f = R_m/2$.

Per quanto concerne la verifica di stabilità in condizioni di prova idraulica, la sollecitazione massima ammissibile è definita come:

$$f_i = \frac{R_s}{1,1} \quad (2.2)$$

La prova idraulica consiste nel riempire il recipiente con un fluido incompressibile, solitamente acqua, e pressurizzarlo a un livello superiore alla pressione di esercizio prevista. Lo scopo della prova è verificare che il recipiente non presenti perdite, deformazioni eccessive o segni di cedimento strutturale sotto carico.

2.2.2 VSR.1.C: spessori minimi delle pareti

Lo spessore minimo delle pareti di un recipiente a pressione, al netto degli eventuali sovrasspessori imposti da esigenze specifiche di impiego o lavorazione, deve rispettare i requisiti minimi. Questi valori sono definiti al fine di garantire l'integrità strutturale del recipiente, salvo quanto diversamente specificato per particolari tipi di membrature elencate nella Raccolta.

È importante sottolineare che eventuali tolleranze negative derivanti dai processi di fabbricazione dei semilavorati possono essere ammesse rispetto agli spessori minimi indicati, purché tali tolleranze siano considerate adeguatamente nei calcoli di stabilità strutturale e rientrino nei limiti consentiti dalle disposizioni normative relative all'impiego dei materiali.

Per quanto riguarda le pareti ottenute da lamiera o da tubo per fasciami cilindrici, gli spessori minimi consentiti sono i seguenti:

- acciai al carbonio: 3 mm;
- acciai debolmente legati e legati: 2 mm.

Questi valori minimi rappresentano un criterio essenziale per la progettazione sicura dei recipienti a pressione, assicurando che, anche in presenza di tolleranze di

fabbricazione, lo spessore delle pareti rimanga sufficiente a prevenire cedimenti o perdite durante il funzionamento del recipiente.

2.2.3 VSR.1.D: fasciami cilindrici sottoposti a pressione interna

Le norme specificate nel capitolo VSR.1.D. si applicano alla verifica della stabilità dei fasciami cilindrici sottoposti a pressione interna, qualora si verifichino le seguenti condizioni:

- il diametro esterno sia maggiore di 220 mm oppure qualunque sia il diametro esterno se vi sono fori o aperture;
- le linee mediane dei tegoli, nel caso di fasciame costituito da tegoli di diverso spessore, risultino, in corrispondenza dei giunti longitudinali, l'una quale prolungamento dell'altra, con uno scarto ammissibile pari al 10 % dello spessore del tegolo maggiore;
- il valore massimo dell'ovalizzazione⁴ u non sia superiore a:

$$\begin{aligned} &1\% \text{ per } s/D_i \geq 0,01 \\ &1,5\% \text{ per } s/D_i < 0,01 \end{aligned}$$

Lo spessore s_0 dei fasciami cilindrici, per i quali il rapporto p/fz oppure p/f sia inferiore o uguale ai valori riportati nella tabella I, deve essere determinato utilizzando la formula 2.3.

$$s_0 = \frac{p \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z - p} \quad (2.3)$$

Nella formule 2.3, il modulo di efficienza z deve essere calcolato con riferimento alle diverse sezioni delle giunzioni saldate longitudinali o alle forature allineate, quando queste ultime siano considerate come linee di forature, assumendo il valore minimo tra quelli risultanti.

I moduli di efficienza z per le giunzioni saldate sono quelli prescritti nelle specifiche tecniche applicative del D.M. 21 novembre 1972, relative alla costruzione saldata (Raccolta S).

⁴Dove $u = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\text{nom}}}$

Qualora le forature siano considerate secondo quanto previsto nel capitolo VSR.1.K. il modulo di efficienza relativo alle forature sarà $z = 1$.

2.2.4 VSR.1.E: fondi curvi

Lo spessore s_0 di un fondo curvo pieno, eseguito in un unico pezzo, con base circolare, sottoposto a pressione sulla superficie interna, e caratterizzato da un profilo meridiano ellittico o paraellittico (torosferico), è sufficiente applicare la formula 2.4.

$$s_0 = \frac{p \cdot D_e}{2 \cdot f} \cdot C \quad (2.4)$$

I valori del coefficiente di forma C , da utilizzare nella formula 2.4, si ricavano dal diagramma in figura 1.E.2.1 nella Raccolta in funzione di H/D_e e s/D_e . Per valori di $H/D_e \leq 0,334$, i coefficienti sono forniti nella tabella VSR.1.E.1.

La formula 2.4 si applica ai fondi curvi con base circolare aventi:

- a) profilo meridiano semicircolare, per il quale lo spessore minimo di calcolo è $\leq 0,16D_e$;
- b) profilo meridiano ellittico (figura 2.3), per il quale sia $H \geq 0,2D_e$ e $s \leq 0,08D_e$;
- c) profilo meridiano paraellittico (o torosferico) (figura 2.2) che soddisfa le seguenti condizioni:

$$\begin{aligned} s &\leq 0,08D & r &\geq 0,1D_c \\ r &\geq 3s & R &\leq D_c \\ H &\geq 0,18D_c \end{aligned}$$

In qui il valore dell'altezza ellittica H è pari:

$$H = R + s - \sqrt{(R - r)^2 - \left(\frac{D_e}{2} - s - r\right)^2} \quad (2.5)$$

Nelle condizioni indicate ai punti b) e c), s rappresenta lo spessore nominale. Nel caso di fondi con profilo paraellittico, se il rapporto H/D_e è compreso tra 0,18 e 0,20, è consentito un valore di R fino a $1,2 \cdot D_e$.

Ogni fondo, ad eccezione di quelli con profilo semicircolare, deve essere dotato di un colletto cilindrico, ricavato in un unico pezzo insieme al fondo, con un'altezza

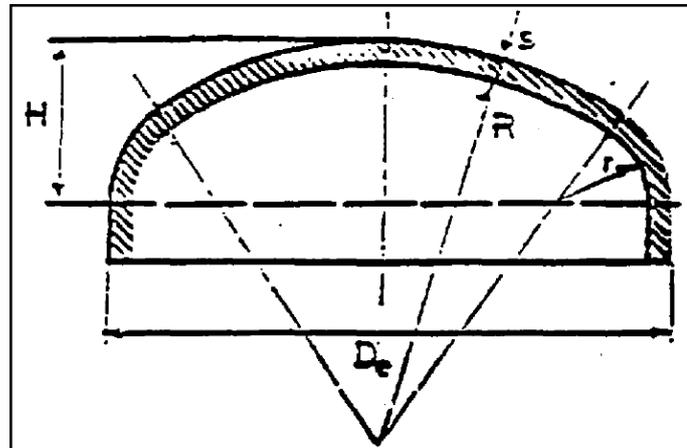


Figura 2.2: Fondo paraellittico (o torosferico)

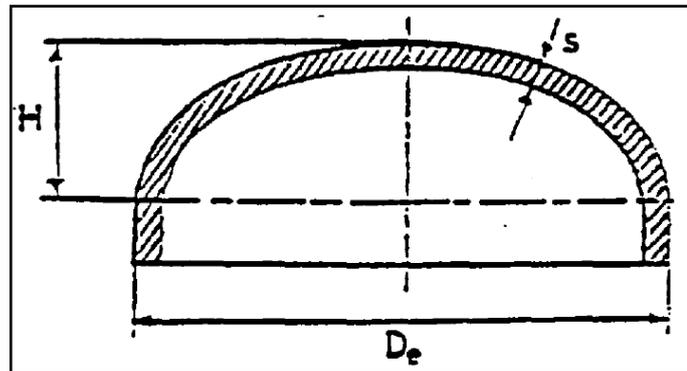


Figura 2.3: Fondo ellittico

minima pari a $0,3 \cdot \sqrt{D_e \cdot s}$. L'altezza del colletto può essere limitata a 100 mm se il giunto saldato che unisce il fondo al fasciame cilindrico è radiografato al 100% e soddisfa la classe I di accettabilità dei difetti.

2.2.5 VSR.1.K: aperture e tronchetti sulle pareti sottoposte a pressione interna

Il presente capitolo tratta delle aperture e dei tronchetti applicati alle pareti dei fasciami cilindrici e ai fondi curvi sottoposti a pressione interna.

I metodi di calcolo specificati nelle regole VSR.1.K.3. e VSR.1.K.4. sono applicabili ai fasciami cilindrici e ai fondi curvi con aperture di forma circolare, ellittica o oblunga, purché siano soddisfatte le ipotesi e le condizioni specificate nella presente regola:

«Forze e/o momenti derivanti da carichi diversi da quelli originati dalla pressione interna non sono presi in considerazione in tali metodi di calcolo.⁵»

Il rapporto tra il diametro interno del tronchetto o dell'apertura e quello della parete principale deve soddisfare la seguente condizione:

$$\frac{d}{2r_i} \leq 0,3 \quad (2.6)$$

Nel caso dei fasciami cilindrici e conici, è possibile avere un rapporto d/D_i superiore a 0,3, a condizione che il rapporto tra gli spessori s_l/s non superi il valore indicato nel grafico di figura 1.K.2.1, funzione del rapporto $d/2r_i$.

I metodi di calcolo delle regole VSR.1.K.3. e VSR.1.K.4. si applicano a fasciami cilindrici e conici, nonché a fondi ellittici, torosferici e a calotta sferica, purché le aperture e i tronchetti siano posizionati a una distanza dal bordo della parete non inferiore a quella minima indicata per ciascun tipo di parete nella regola VSR.1.K.5.

I fasciami cilindrici e conici, così come i fondi curvi con aperture, devono essere rinforzati dove necessario. Il rinforzo può essere realizzato attraverso uno dei seguenti metodi:

- a) aumentando lo spessore della parete principale che risulterebbe necessario in assenza di aperture;
- b) applicando con saldatura una piastra di rinforzo;
- c) applicando con saldatura un massello flangiato;
- d) incrementando lo spessore minimo necessario dei tronchetti;
- e) ricorrendo ad una combinazione dei metodi sopra citati.

Nel caso di fondi curvi, la parte di piastra di rinforzo che eventualmente supera $0,8 \cdot D_e$ (fig. 2.4) non deve essere considerata ai fini della compensazione delle aperture.

L'area di rinforzo necessaria per una parete con aperture non può essere calcolata direttamente, ma deve essere stimata approssimativamente; questa ipotesi va poi verificata utilizzando il metodo di calcolo descritto nei paragrafi successivi. Tale metodo deriva dalle formule applicabili ai fasciami cilindrici e sferici, nonché alle

⁵Cfr. 1.K.2.: Condizioni di applicazione

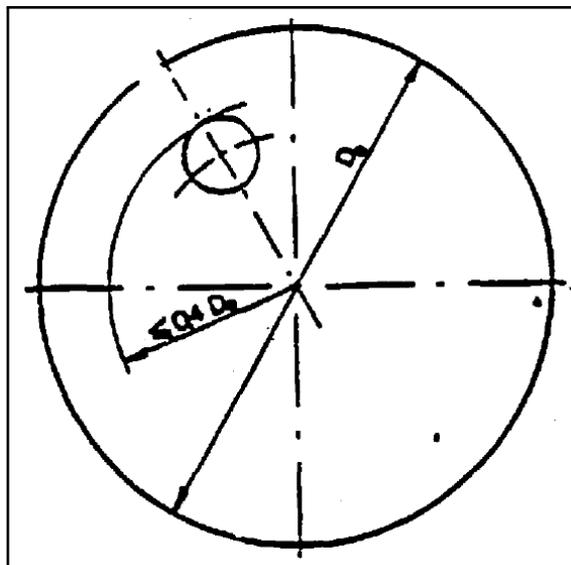


Figura 2.4: Delimitazione dell'area di dislocazione delle aperture

sezioni sferiche dei fondi curvi, e si basa sulla relazione tra l'area soggetta alla pressione del fluido A e l'area sollecitata della sezione trasversale del materiale utile per la compensazione A_f .

Quando è necessario un rinforzo, esso deve essere sufficiente in tutti i piani passanti per l'asse dell'apertura. Nel caso di aperture ellittiche o oblunghhe, il rapporto tra l'asse maggiore e quello minore non deve superare 2. Per aperture ellittiche o oblunghhe su fasciami conici e cilindrici, la dimensione lungo la generatrice deve essere considerata come diametro di calcolo, mentre su fasciami sferici e fondi curvi si considera la dimensione maggiore.

Un tronchetto può essere considerato come rinforzo dell'apertura solo se il giunto saldato di collegamento al fasciame è realizzato secondo le modalità e le condizioni previste dalla Raccolta S dell'ISPESL.

Le figure 1.K.2.15 (tronchetto penetrante) e 1.K.2.16 (tronchetto parzialmente penetrante), presenti nella Raccolta V.S.R., mostrano esempi di tronchetti che non possono essere considerati come rinforzi.

La compensazione delle aperture mediante piastre di rinforzo è consentita solo se è soddisfatta la seguente condizione:

$$\frac{d}{2r_i} \leq 0,5 \quad (2.7)$$

Regola VSR.1.K.3.: aperture isolate

Nel caso di fasciami cilindrici e conici, fasciami sferici e fondi curvi con aperture isolate, le aperture e i tronchetti adiacenti possono essere considerati come aperture isolate se la distanza L_c tra i centri di tali aperture, misurata sul diametro medio della parete principale, soddisfa la seguente relazione:

$$L_c \geq a_1 + a_2 + L_1 + L_2 \quad (2.8)$$

dove a_1 e a_2 sono lunghezze misurate lungo L_c , mentre L per ciascuna apertura è dato da:

$$L = \sqrt{(2r_i + s) \cdot s} \quad (2.9)$$

In queste equazioni:

s spessore effettivo della sola parete principale o lo spessore medio sul tratto L , escludendo lo spessore di eventuali piastre di rinforzo presenti;

r_i raggio interno di curvatura della parete principale al centro di ciascuna apertura e, nel caso di fasciami cilindrici o sferici, è definito come:

$$r_i = \frac{D_0}{2} - s \quad (2.10)$$

Nelle famiglie di prodotti esaminate in questo elaborato, la distanza M indicata nel disegno della famiglia rappresenta la distanza minima tra due aperture necessaria affinché queste possano essere considerate come aperture isolate.

Aperture isolate da compensare

Per le aperture isolate, è necessario soddisfare la seguente equazione generale per la compensazione:

$$\begin{aligned} (A_{fm} + A_{fs}) \cdot (f - 0.5p) + A_{fp} (f_{op} - 0.5p) + A_{ft} (f_{ot} - 0.5p) \\ \geq p (A_{pm} + A_{pt} + 0.5A_{p\alpha}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

p pressione di calcolo;

f_{ot} MIN (f, f_t);

f_{op} MIN (f, f_p);

f_{or} MIN (f, f_r);

A_{fm} area sollecitata A_f , utile ai fini della compensazione, della sezione trasversale della parete principale;

A_{fs} eventuale area di saldatura, esterna al profilo fasciame-tronchetto, del tronchetto (o del massello) e/o della piastra di rinforzo sulla parete entro la lunghezza l_m del fasciame;

A_{fp} area A_f della piastra di rinforzo descritta al punto 4 della presente regola;

A_{fr} area A_f del massello flangiato descritta al punto 5 della presente regola;

A_{ft} area A_f del tronchetto descritta ai punti 6.1 e 6.2 della presente regola;

A_{pm} area A_p soggetta alla pressione del fluido relativa alla parete principale;

A_{pt} area A_p soggetta alla pressione del fluido relativa al tronchetto, descritta al punto 6.1 della presente regola;

A_{pr} area A_p soggetta alla pressione del fluido relativa al massello flangiato, descritta al punto 5 della presente regola;

$A_{p\alpha}$ area addizionale A_p soggetta alla pressione del fluido relativa al tronchetto inclinato e funzione dell'angolo α , descritta ai punti 6.2 e 6.3 della presente regola (cfr. figure 1.K.3.1 e 1.K.3.2.).

I valori delle aree A_{fm} , A_{fs} , A_{fp} , A_{fr} , A_{ft} , A_{pm} , A_{pt} , A_{pr} e $A_{p\alpha}$ sono rappresentati graficamente nelle figure di riferimento della Raccolta. Nel caso di aperture rinforzate con tronchetti o masselli, le seguenti formule sono valide per i fasciami cilindrici verificati sul piano longitudinale:

$$A_{pm} = r_i \cdot (l_m + a) \quad (2.12)$$

Per tronchetti penetranti:

$$A_{fm} = s \cdot l_m \quad (2.13)$$

Per tronchetti appoggiati:

$$A_{fm} = s \cdot (s_t + l_m) \quad (2.14)$$

con:

r_i definito nella formula 2.10;

l_{max} massima lunghezza della parete, dal bordo della apertura o dal diametro esterno del tronchetto, disponibile per la compensazione vicino ad una discontinuità della parete principale in mm;

l_m MIN (L, l_{max}).

Queste formule sono valide per tutti i tipi di pareti. Nel caso di tronchetti radiali a sezione circolare, nella formula 2.12 si ha $a = 0,5 \cdot d_\alpha$.

Se la sollecitazione massima ammissibile f_t (oppure f_r) e f_p non sono inferiori a f , la formula 2.11 assume la seguente forma:

$$(A_{fm} + A_{fs} + A_{fp} + A_{ft}) \cdot (f - 0,5p) \geq p (A_{pm} + A_{pt} + 0,5A_{p\alpha}) \quad (2.15)$$

L'apertura è definita come *piccola apertura* e non è necessaria la verifica della compensazione tramite la formula 2.11, se il diametro d dell'apertura isolata soddisfa la condizione 2.16.

$$d \leq 0,14\sqrt{(2r_i + s) \cdot s} \quad (2.16)$$

È consentita la presenza di piccole aperture vicino alle discontinuità della parete principale, anche a distanze inferiori a quelle indicate nella regola VSR.1.K.5, ma in tal caso è obbligatorio verificare la compensazione di tali aperture utilizzando la formula 2.11.

Le piastre di rinforzo utilizzate per compensare le aperture isolate devono essere solidalmente collegate alla parete principale. Il valore di s_p , utilizzato per il calcolo di A_{fp} , non deve superare lo spessore s della parete principale. Per le formule 2.13 e 2.14, l'area A_{fp} è data da:

$$A_{fp} = s_p \cdot l_{po} \quad (2.17)$$

con:

l_p larghezza della piastra di rinforzo, in mm;

l_{po} $\text{MIN}(L, l_p)$.

Regola VSR.1.K.5: distanza minima di una apertura dal bordo della parete principale

Quando il fasciame cilindrico è raccordato con un fondo curvo la distanza x presa come mostrato nella figura 2.5 deve rispettare la seguente condizione:

$$x \geq 0,26L \quad (2.18)$$

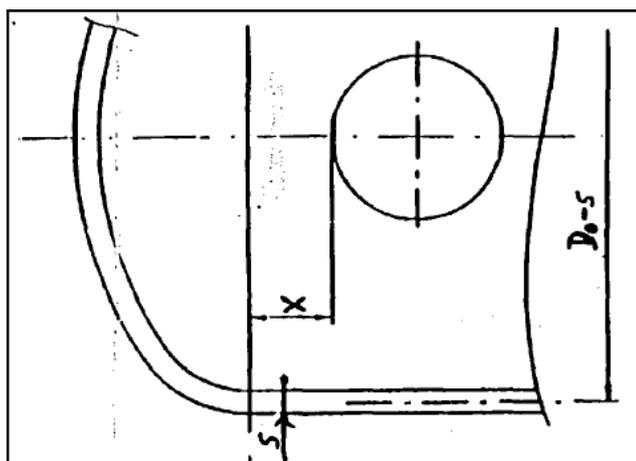


Figura 2.5: Minima distanza x da discontinuità della parete principale

Nelle famiglie di prodotti esaminate in questo elaborato, la distanza N indicata nel disegno della famiglia, indica la quota dal centro dell'apertura al bordo della virola. Dunque la quota x ottenuta dall'equazione 2.18 va sommata all'ingombro radiale della connessione montata.

Per i fondi ellittici e torosferici, le aperture e i tronchetti devono essere situati all'interno dell'area centrale del fondo delimitata dal diametro $0,8 \cdot D_e$, come indicato in figura 2.4. Per posizioni al di fuori di questa area, si rimanda ai metodi di calcolo specifici per la verifica della stabilità dei fondi curvi.

2.3 ASME BPVC Sect. VIII Div. 1 Ed. 2023

Questo capitolo si propone di fornire un'analisi del codice ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC), concentrandosi in particolare sulla Sezione VIII, Divisione 1, edizione 2023, d'ora in avanti indicata come "codice ASME". Tale codice rappresenta uno dei principali riferimenti normativi a livello internazionale per la progettazione, costruzione e ispezione dei recipienti a pressione. Il BPVC è composto da 13 sezioni, ognuna delle quali affronta aspetti essenziali per la progettazione e la costruzione di recipienti a pressione. Nel presente capitolo, si esamineranno i principi fondamentali del codice, fornendo il contesto necessario per comprendere meglio lo studio di fattibilità relativo al configuratore ASME al capitolo 5.3.

2.3.1 Struttura del codice

Il codice BPVC è articolato in diverse sezioni, come illustrato nella tabella 2.1. In questo capitolo, ci si concentrerà sulla Sezione VIII, che stabilisce le norme per la costruzione dei recipienti a pressione. Tale sezione richiama altre sezioni trasversali, come la Sezione II, che tratta i materiali, la Sezione V, relativa ai controlli non distruttivi, e la Sezione IX, che riguarda le qualifiche della saldatura.

La Sezione VIII si suddivide in tre divisioni principali:

- Divisione 1: Regole di Costruzione dei Recipienti a Pressione;
- Divisione 2: Regole Alternative;
- Divisione 3: Regole Alternative per Alta Pressione.

La Divisione 1 adotta un approccio alla progettazione mediante formule, con coefficienti di sicurezza che rendono tale approccio più conservativo rispetto alle altre divisioni. Questa divisione si applica a recipienti con una pressione massima inferiore a 200 bar e un diametro interno superiore a 152 mm, purché non esposti a fiamma.

La Divisione 2, invece, si basa su un approccio progettuale mediante analisi, consentendo di affrontare casi più complessi, come cicli di fatica e analisi agli elementi finiti (FEM). Pur non essendoci limiti specifici di pressione, la Divisione 2 è generalmente applicata a recipienti con pressione superiore a 40 bar. La scelta tra l'applicazione della Divisione 1 o della Divisione 2 è spesso dettata da considerazioni economiche e progettuali. Infine, la Divisione 3 è applicata ai progetti in cui la

Tabella 2.1: ASME BPVC Sections Overview

ASME BPVC – LIST OF SECTIONS	
SECTION I	Rules for Construction of Power Boilers
SECTION II	Materials
SECTION III	Rules for Construction of Nuclear Facility Components
SECTION IV	Rules for Construction of Heating Boilers
SECTION V	Nondestructive Examination
SECTION VI	Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boilers
SECTION VII	Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers
SECTION VIII	Rules for Construction of Pressure Vessels
SECTION IX	Welding and Brazing Qualifications
SECTION X	Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels
SECTION XI	Rules for in service Inspection of Nuclear Power Plant Components
SECTION XII	Rules for the Construction and Continued Service of Transport Tanks
SECTION XIII	Rules for Overpressure Protection

pressione è superiore a circa 690 bar e prevede al suo interno prescrizioni specifiche per prodotti destinati a impianti nucleari.

La Divisione 1, è ulteriormente suddivisa in tre sotto-sezioni e quindici parti:

- sottosezione A: requisiti generali (1 parte);
- sottosezione B: requisiti di fabbricazione (3 parti);
- sottosezione C: requisiti dei materiali (11 parti).

Inoltre, il codice comprende 48 appendici obbligatorie e 26 non obbligatorie. Il BPVC viene aggiornato ogni due anni nel mese di luglio, con l'obbligo di applicare la nuova versione a partire da gennaio dell'anno successivo.

2.3.2 Sottosezione A: requisiti generali (UG)

La sottosezione A definisce i requisiti generali che si applicano trasversalmente all'intera progettazione, includendo specifiche sulle dimensioni, tolleranze, spessori minimi e altri parametri critici che devono essere rispettati indipendentemente dal

tipo di progetto o materiale utilizzato. La conformità a questi requisiti è essenziale per garantire la sicurezza strutturale del recipiente in servizio.

Per quanto concerne la tipologia di carichi che i recipienti devono sopportare, la figura 2.6 fornisce una visualizzazione delle diverse tipologie da considerare durante la fase di progettazione.

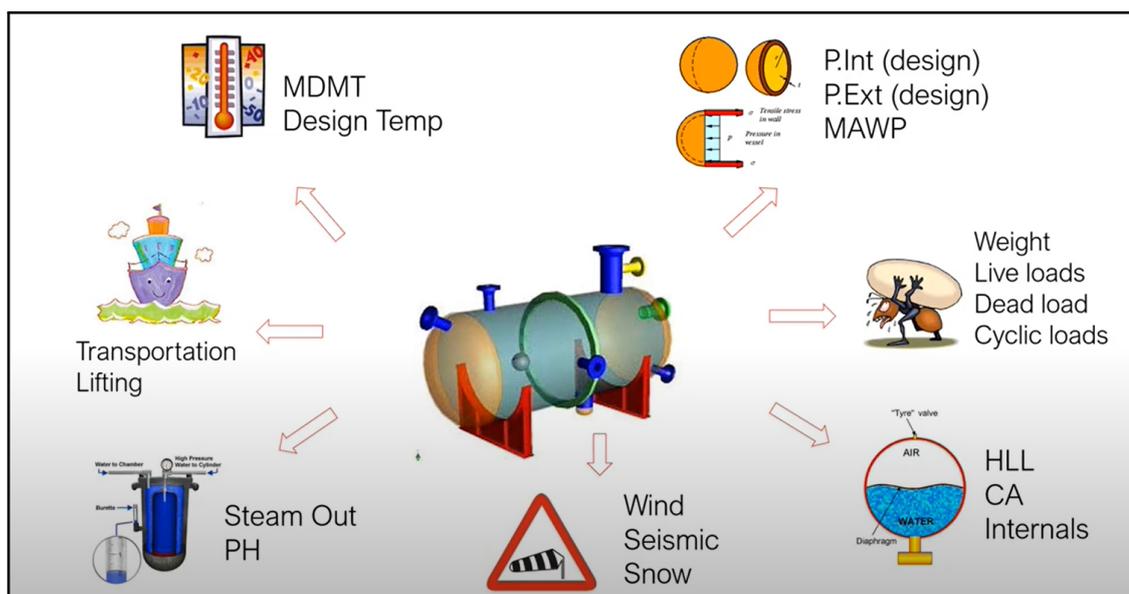


Figura 2.6: Schema dei possibili carichi

UG-27: spessore del fasciame sottoposto a pressione interna

Il paragrafo UG-27 stabilisce che lo spessore del fasciame sottoposto a pressione interna non deve essere inferiore a quello calcolato utilizzando le formule 2.19 e 2.20, fatta eccezione per i casi descritti nelle Appendici Obbligatorie 1 e 32.

Lo spessore minimo consentito per i componenti sottoposti a pressione, indipendentemente dalla forma e dal materiale del prodotto e dopo la formatura, deve essere di almeno 1/16 di pollice (1,5 mm), al netto di eventuali riduzioni dovute alla corrosione. Tuttavia, esistono delle eccezioni per specifiche applicazioni, come i mantelli e i fondi utilizzati in impianti ad aria compressa, vapore o acqua, quando realizzati con materiali indicati nella Tabella UCS-23 (acciai al carbonio e basso-legati). In questi casi, lo spessore minimo non deve essere inferiore a 3/32 di pollice (2,5 mm), al netto di qualsiasi tolleranza per corrosione.

Nelle formule di progettazione, i simboli dimensionali utilizzati rappresentano le dimensioni tenendo conto delle condizioni di corrosione. Di seguito si riportano i simboli impiegati:

E efficienza di giunto;

P pressione interna di progetto;

R raggio interno del fasciame;

S sollecitazione massima ammissibile;

t spessore minimo ammissibile del fasciame;

Lo spessore minimo richiesto t, quando lo spessore non supera la metà del raggio interno, è il maggiore tra i valori ottenuti dalle seguenti equazioni:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (2.19)$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad (2.20)$$

Le equazioni si riferiscono alle sollecitazioni circonferenziali (2.19) e longitudinali (2.20). Le formule fornite nel codice si basano sulla teoria classica dei recipienti in pressione assialsimmetrici a comportamento membranale di Mariotte, ma includono un coefficiente di sicurezza aggiuntivo al denominatore per tenere conto dei fattori reali e delle condizioni pratiche.

UG-37: Compensazione delle aree

Il paragrafo UG-37(a) definisce la nomenclatura e i simboli utilizzati. La figura 2.7 riporta uno schema esemplificativo di una possibile apertura.

Le regole del presente paragrafo si applicano a tutte le aperture, tranne nei seguenti casi:

1. piccole aperture coperte da UG-36(c)(3);
2. aperture in teste piatte coperte da UG-39;
3. aperture progettate come sezioni di riduzione di cui all'UG-36(e);

A sezione trasversale totale di rinforzo necessaria per il piano considerato;

d diametro dell'apertura circolare nel piano considerato;

F fattore correttivo per compensare la variazione della sollecitazione dovuta alla pressione interna nei diversi piani rispetto all'asse del mantello. In generale, per tutte le configurazioni di aperture e rinforzi, si usa un valore standard di $F=1$. Questo valore è un'approssimazione che presuppone che le sollecitazioni interne siano uniformi o che la geometria dell'apertura e dei rinforzi non richieda una correzione specifica;

f_{r1} rapporto tra la sollecitazione massima ammissibile della connessione rispetto a quella del mantello;

t_r spessore ammissibile per un fasciame equivalente senza saldatura in base alla sollecitazione circonferenziale;

t_n spessore ammissibile della parete della connessione senza saldatura, utilizzando $E=1$.

Altri dettagli ed equazioni specifiche per altre casistiche sono riportati nella figura UG-37.1.

Le regole di rinforzo si applicano alla pressione interna o esterna e non riguardano i requisiti per le aperture sottoposte a carichi esterni, come le reazioni dei tubi. Per considerare i carichi applicati dall'esterno, si rimanda al paragrafo U-2(g).

2.3.3 Sottosezione B: requisiti di fabbricazione (UW)

La sottosezione B approfondisce i requisiti relativi ai metodi di fabbricazione dei recipienti a pressione. In particolare, essa si concentra sulle tecniche di saldatura, che rivestono un ruolo cruciale nella costruzione di questi recipienti. La qualità delle saldature è determinante per la resistenza e la durabilità del recipiente, e pertanto, la normativa impone standard rigorosi per la loro esecuzione. Vengono specificate le procedure di saldatura, i controlli di qualità e le ispezioni necessarie per garantire che i giunti saldati rispettino le caratteristiche meccaniche e fisiche richieste.

Il codice ASME suddivide i giunti saldati in diverse tipologie in base alla loro configurazione e applicazione:

- giunti di testa (*butt welds*): questi sono giunti in cui due pezzi di materiale vengono uniti lungo i loro bordi. Questo tipo di giunto è comunemente utilizzato per unire componenti cilindrici, come i gusci di recipienti a pressione;
- giunti ad angolo (*fillet welds*): utilizzati principalmente per unire supporti e accessori, questi giunti non sono spesso usati per le parti principali dei recipienti a pressione a causa della loro minore efficienza rispetto ai giunti di testa;
- giunti a T (*T-joints*): questi giunti uniscono una piastra o un tubo ad un'altra piastra in un angolo di 90 gradi. Sono usati per collegare pareti di compartimenti o altre parti interne dei recipienti;
- giunti a sovrapposizione (*lap welds*): questi giunti vengono utilizzati quando una piastra è sovrapposta a un'altra e saldata insieme.

Le categorie di giunti saldati sono definite nel paragrafo UW-3 e riguardano la posizione e l'importanza del giunto all'interno della struttura del recipiente:

- categoria A: include le saldature longitudinali del fasciame. Questi sono considerati i giunti principali poiché spesso sopportano le maggiori sollecitazioni;
- categoria B: comprende i giunti circolari tra il mantello e il fondo;
- categoria C: include i giunti di testa collegano i tubi alle flange;
- categoria D: si riferisce ai giunti circolari che collegano componenti più piccoli, come manicotti, alla camera principale.

L'efficienza del giunto è un concetto chiave per determinare lo spessore minimo richiesto per le pareti dei recipienti a pressione. L'efficienza del giunto E rappresenta la percentuale della resistenza del giunto saldato rispetto alla resistenza del materiale base non saldato.

L'efficienza varia in base a diversi fattori, tra cui:

- tipo di giunto e sua categoria;
- controlli non distruttivi (NDE).

La tabella UW-12 fornisce indicazioni dettagliate sulle efficienze dei giunti, specificando i valori in base alle diverse categorie di giunto e al tipo di controllo non distruttivo applicato. La tabella UW-16.1, invece, elenca i valori relativi allo spessore minimo richiesto per le connessioni da saldare.

Capitolo 3

Design Thinking

3.1 Introduzione alla metodologia

Il *design thinking* è un approccio innovativo alla risoluzione dei problemi, centrato sull'utente e caratterizzato da una forte componente creativa e collaborativa. Questa metodologia, che ha guadagnato notevole popolarità negli ultimi decenni, è stata adottata in vari settori grazie alla sua efficacia nel generare soluzioni pratiche e innovative.

Tim Brown, CEO di IDEO, una delle aziende pionieristiche nel campo del design thinking, definisce questo concetto come: «[...] un approccio all'innovazione incentrato sull'utente che attinge agli strumenti del progettista per integrare le esigenze delle persone, le possibilità tecnologiche e i requisiti per il successo aziendale.» [8]. Secondo Brown, il design thinking non è solo una metodologia, ma un modo di pensare e di affrontare le sfide.

Il design thinking si articola tipicamente nelle seguenti fasi:

1. empathize;
2. define;
3. ideate;
4. prototype;
5. test;
6. implement.

Questo modello, reso popolare dalla d.school della Stanford University, inizia con l'empatia verso gli utenti per comprendere profondamente i loro bisogni e problemi. Successivamente si passa alla definizione chiara del problema da affrontare, incoraggiando la generazione di idee creative nella fase di ideazione. Il processo

prosegue con la creazione di prototipi tangibili e continua con la fase di testing per valutare l'efficacia delle soluzioni proposte. Infine, il processo si conclude con l'implementazione del prototipo basata sui risultati validati durante il testing.



Figura 3.1: Processo di design thinking

Il metodo non è da intendersi come consequenziale e statico, come si può vedere in figura 3.1, bensì è fondamentale che ci sia un processo di iterazione tra le fasi in modo da rimanere aggiornati e mantenere un approccio dinamico [9].

3.2 Raccolta dati

In questa prima fase è fondamentale comprendere le esigenze degli utenti per analizzare i loro comportamenti e le alternative utilizzate. Non ci si è limitati a considerare solo l'utilizzatore finale del configuratore, ma si è analizzato l'insieme più ampio di soggetti che interagiscono all'interno del processo di richiesta d'offerta di un serbatoio standard a catalogo con personalizzazioni. L'iter si divide principalmente in:

1. primo contatto con il cliente e acquisizione dei dati di progetto da parte del dipartimento commerciale;
2. il disegnatore elabora la tavola per la richiesta d'offerta iniziale (RDO);
3. controllo conformità del disegno da parte dell'ufficio tecnico;
4. il dipartimento commerciale invia l'offerta economica e il disegno RDO;
5. controllo del progetto da parte del cliente;
6. il cliente emette l'ordine;

7. il disegnatore elabora la tavola definitiva (VES);

8. controllo finale del progetto da parte dell'ufficio tecnico.

Come primo passo, si è deciso di approfondire il contesto in cui è stato sviluppato il prototipo iniziale. Il configuratore è uno strumento che consente di personalizzare un prodotto a partire da un set di componenti base non modificabili, aggiungendo o riorganizzando componenti accessori. Questo strumento è stato concepito per accelerare il processo di creazione di un disegno RDO e automatizzare alcuni controlli di base. Il primo configuratore è stato sviluppato internamente in azienda su una gamma di prodotti più semplici, per validare rapidamente l'idea. La famiglia di prodotti scelta per il test è stata la PEDC009V0. In questo caso, il configuratore funge principalmente da strumento di modellazione su SolidWorks, con Excel che semplifica l'interfaccia utente e implementa controlli per guidare le scelte disponibili.

3.2.1 Descrizione della famiglia PEDC009V0

La famiglia PEDC009V0 comprende recipienti in pressione per accumulo di grandi volumi di gas compressi realizzati in acciaio al carbonio, approvati secondo la direttiva PED 2014/68/UE. In questa famiglia rientrano 6 varianti di recipienti in pressione, con capacità di:

- 5000 L;
- 8000 L;
- 10000 L.

Le pressioni d'esercizio ammissibili sono 11 e 12 bar, mentre l'intervallo di temperatura d'esercizio va da -20°C a +80°C. I serbatoi sono stati progettati per contenere fluidi di Gr. 1 e sono stati classificati nella categoria IV con procedure di conformità previste dai moduli B+F.

La scelta di partire da questa gamma di prodotti deriva dalla bassa variabilità dei parametri costruttivi. Infatti, tutti i serbatoi condividono lo stesso diametro e le combinazioni di pressione e volume sono solo 6, semplificando il processo di programmazione del configuratore. Anche le carpenterie e i fondi sono comuni a tutta la famiglia, con spessori identici sia per il fasciame che per il fondo. Questa uniformità facilita la modellazione e l'integrazione dello strumento.

3.2.2 Dati qualitativi

Alla luce di queste considerazioni, è stata condotta un'attività di ricerca attraverso interviste, sia individuali che di gruppo, con i vari soggetti coinvolti nel processo. Durante il periodo di tirocinio, l'opportunità di collaborare a stretto contatto con i colleghi che successivamente sarebbero stati intervistati ha permesso di osservare da vicino e comprendere in modo più profondo le dinamiche aziendali consolidate nel tempo. Questa fase di osservazione diretta è stata fondamentale per acquisire una visione completa del contesto e identificare le aree critiche su cui il configuratore avrebbe potuto apportare miglioramenti.

Al fine di raccogliere i dati correttamente, limitando il più possibile i bias cognitivi, sono state adottate diverse strategie di comunicazione. Prima di tutto si è cercato di impostare i colloqui con delle domande aperte, influenzando il meno possibile le risposte, ma soprattutto dando modo di illustrare dal proprio punto di vista il contesto [10].

Un altro concetto fondante della progettazione delle domande è stato il tentativo di parlare il più possibile di fatti accaduti, concentrandosi sulle dinamiche quotidiane.

Infine, per evitare di creare un bias di conferma, per quanto possibile, si è cercato di togliere il focus dal configuratore come soluzione finale, ma per lo più come strumento da riadattare alle necessità contemporanee. Quest'ultimo punto è più importante di quel che sembri, in quanto avendo ampliato l'analisi al processo completo, è stato necessario mettere in discussione tutto, ma rimanendo imparziali e senza la pretesa di avere la soluzione a tutti i problemi.

Prima di ogni intervista le domande sono state approvate dalla responsabile dell'ufficio tecnico che ha supervisionato l'intero progetto. Le persone intervistate sono state:

- disegnatore (SPE): responsabile della parte di modellazione del precedente configuratore;
- disegnatore (SPV): utilizzatore primario del precedente configuratore;
- responsabile del dipartimento commerciale;
- ing. progettista;
- tecnico progettista.

Intervista al disegnatore (SPE)

Come prima intervista, si è scelto di esplorare più nel dettaglio il precedente configuratore, in modo da avere un punto di riferimento iniziale su cui basare le interviste successive. La prima domanda è stata di descrivere, dal suo punto di vista, il prodotto realizzato con SolidWorks. In questo modo, si è chiarita meglio la struttura del modello e le implementazioni preimpostate per il configuratore successivo.

Sono stati evidenziati come punti critici: l'orientamento delle connessioni sul fasciame e la gestione dei fori in funzione della saldatura da realizzare. In particolare, quest'ultimo aspetto del precedente configuratore, non è stato più sviluppato ed è rimasto un processo manuale a causa di limiti software. Approfondendo le procedure non automatizzate residue, l'intervistato ha raccontato nel dettaglio tutte le operazioni da svolgere in un processo di realizzazione di una tavola RDO, evidenziando quali aspetti sono stati velocizzati grazie al configuratore e quali sono rimasti invariati.

Infine si sono approfondite le logiche di progettazione del modello in relazione ai limiti del programma e come questi siano stati sfruttati al massimo senza rallentare eccessivamente il sistema.

Intervista al disegnatore (SPV)

La testimonianza dell'utente principale del configuratore era fondamentale per comprendere i cambiamenti introdotti dallo strumento. In questo caso si è iniziata l'intervista mettendo al centro il processo di lavoro di elaborazione di un disegno RDO dal suo punto di vista, in particolare le comunicazioni tra i soggetti in gioco.

Successivamente, è stato chiesto di evidenziare quali fossero i punti che hanno velocizzato il processo, facendo emergere che la generazione del modello 3D e la verifica del progetto fossero il maggior valore aggiunto del configuratore.

Sono state analizzate le tipologie di progetti non ancora gestibili mediante il configuratore, evidenziandone le configurazioni più comuni. A livello qualitativo, è stata riportata una richiesta periodica di certificazioni ASME e verifiche a sisma, vento e fatica. In seguito alla richiesta di dati quantitativi, è stato segnalato un registro cronologico dei progetti svolti dall'intervistato, il cui contenuto è stato analizzato e i risultati riportati nel capitolo 3.2.3.

Infine, per confrontare la testimonianza del disegnatore della divisione SPE è stato chiesto di approfondire le procedure manuali residue nel processo di produzione di un disegno RDO e successivo disegno definitivo (VES).

Intervista al responsabile del dipartimento commerciale

Il primo contatto con un cliente avviene spesso tramite la figura del responsabile del dipartimento commerciale, dunque molte informazioni inerenti al progetto vengono ottenute in questa fase. L'intervista è iniziata illustrando le dinamiche del primo contatto e come venga gestita la richiesta di un prodotto. In particolare, è emersa la netta differenza tra prodotto standard a catalogo e progetto dedicato, inoltre è stata sottolineata la frequente richiesta di omologazione supplementare secondo la normativa ASME. Qualitativamente è stata riportata una bassa richiesta di aggiunta di flange e spostamenti o modifiche di dimensioni delle connessioni, normalmente richieste per adattare un serbatoio alle predisposizioni di un impianto esistente.

Nel corso dell'intervista, è emerso che guidare il cliente nella scelta del prodotto sia l'aspetto fondamentale per unire i bisogni reali alle soluzioni proposte nel catalogo. In quest'ottica, per aiutare il processo di selezione del prodotto, viene inoltrato al cliente un modulo da compilare con i dati fondamentali, sia per le verifiche dell'ufficio tecnico che per l'ufficio commerciale.

Infine, si è chiesto di esporre le figure con cui ci si relazionava più spesso durante il processo di gestione di un disegno RDO e successivamente durante la fase di ordine. In questo caso, non essendo l'intervistato una figura prettamente tecnica, sono state approfondite le operazioni che accompagnano il progetto, come redigere la distinta base commerciale con il relativo listino prezzi, le interazioni con i diversi siti produttivi per la logistica e altri aspetti che si muovono più su un piano orizzontale.

Intervista all'ing. progettista

Al fine di comprendere da un punto di vista più tecnico quali fossero gli aspetti da controllare in un progetto di un serbatoio standard personalizzato appartenente a una famiglia PED, si è intervistato chi svolge quotidianamente controlli sulla conformità del prodotto alla famiglia. Come filo comune tra le interviste, anche in questa si è iniziato chiedendo di esporre il processo di elaborazione di un disegno RDO. Tra gli altri controlli e verifiche di base fatte dall'ufficio tecnico sono emersi alcuni suggerimenti su cui concentrarsi:

- procedura interna dettagliata di verifica di un serbatoio;
- analisi per standardizzare gli occhielli di sollevamento;
- implementazione della gestione delle saldature delle connessioni;

- implementazione di avvisi nel configuratore che non interrompano il processo;
- interfaccia riepilogativa del progetto.

Tali suggerimenti sono stati analizzati successivamente, ma è importante sottolineare come quest'intervista abbia permesso di dar voce a idee latenti che non avevano avuto l'opportunità di emergere in altre sedi.

Proseguendo con le domande, si è indagato su chi fossero le figure più coinvolte nei processi analizzati ed è emersa la richiesta di dare più strumenti all'ufficio commerciale per verifiche meno complesse. I controlli più critici sono le applicazioni inerenti i fluidi del gruppo 1, e i calcoli a vento, sisma e fatica che automaticamente escludono il prodotto da una possibile famiglia PED, aumentando di conseguenza il contributo dell'ufficio tecnico. Inoltre, la gestione di progetti con clienti nuovi richiede una particolare attenzione, in quanto ci possono essere delle richieste nuove da dover assecondare.

Per quanto riguarda alcune statistiche più qualitative, è stato riportato come la maggior parte dei progetti conformi alla Direttiva PED ricadessero nella famiglia del nuovo configuratore, in più è stato segnalato che il primo motivo per cui si rimaneggiano i progetti sembra essere legato alla non completa raccolta dei dati di progetto dai clienti.

Intervista al tecnico progettista

In quest'ultima intervista si è cercato di esplorare meglio l'aspetto legato al processo di completamento dell'ordine. Oltre a riconfermare le dinamiche di comunicazione tra le parti in gioco, si è compreso meglio il sistema delle famiglie e l'uso del modulo G per i progetti sotto direttiva PED personalizzati, ovvero fuori dalle famiglie di prodotti approvati. L'intervista ha riconfermato alcuni aspetti già riscontrati precedentemente.

3.2.3 Dati quantitativi

La raccolta di dati quantitativi è un momento fondamentale nel processo di validazione delle ipotesi sviluppate durante le interviste. Trattandosi di un argomento intrinsecamente stratificato, non è stato possibile ottenere facilmente dei dati già processati; pertanto, si è proceduto all'elaborazione di questi ultimi mediante analisi. La principale fonte di informazione è stata l'archivio dei progetti codificati dal disegnatore della divisione SPV durante gli ultimi due anni. Analizzando i fascicoli,

è stato possibile registrare dati significativi e categorizzare i progetti in modo da estrarre informazioni utili.

Analisi dei dati

Ogni progetto è stato archiviato con allegata la scheda di *attribuzione codice prodotto* (ACP) che riporta:

- data di richiesta codifica;
- famiglia esistente;
- norma di riferimento;
- tipologia di progetto:
 - modulo G;
 - progetto nuovo;
- note del progetto.

In ogni fascicolo si allegava lo scambio di email e i diversi disegni preliminari del progetto, in modo da avere chiara la storia del progetto. In totale sono stati analizzati 160 progetti dal 05/05/2022 al 30/01/2024.

La prima analisi, riportata nel grafico in figura 3.2, è servita a comprendere la distribuzione della normativa di riferimento dei progetti in esame. Si evidenzia come la Direttiva PED sia ancora molto richiesta, anche se il numero di progetti ASME è in rapido aumento.

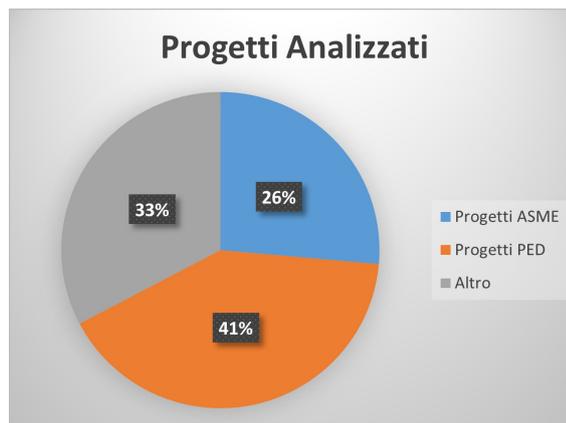


Figura 3.2: Grafico Progetti Analizzati

Nel grafico in figura 3.3 si evince come la maggior parte dei progetti ricada nella famiglia PEDC010V0, validando la scelta di implementare uno strumento per tale

gruppo di prodotti. In senso più generale, nel grafico in figura 3.4¹, sono state registrate le modifiche che vengono richieste più spesso nei prodotti sotto la Direttiva europea. In questo caso, il dato più importante, mostra come l'80% delle modifiche sarebbe facilmente gestibile dal configuratore. Per modifiche base si intende un cambio di quota delle connessioni, oppure una sostituzione di taglia della stessa. Importante notare come la richiesta di documenti supplementari al progetto stia diventando sempre meno trascurabile.

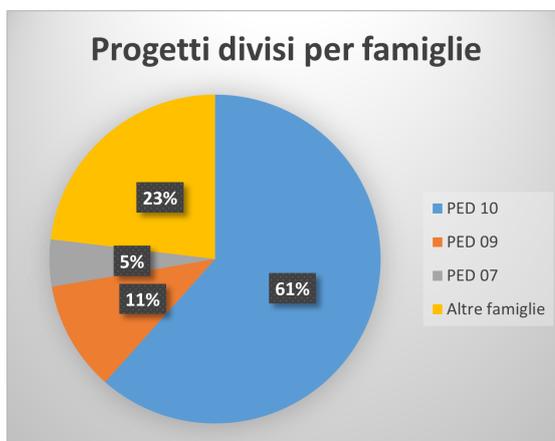


Figura 3.3: Famiglie conformi alla direttiva PED 2014/68/UE

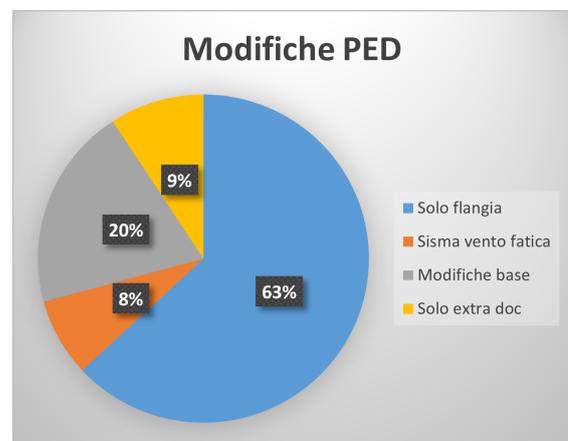


Figura 3.4: Modifiche PED

3.3 Definizione del problema

L'interpretazione dei dati raccolti ha portato ad analizzare il processo nel modo più ampio possibile, ma definire il problema che si vuole risolvere aiuta ad esplorare diverse opzioni e soluzioni.

Al termine della campagna di raccolta dati, si sono rielaborati i risultati in macro categorie:

- statistiche;
- gestione dei clienti;
- progetti non standard;
- implementazioni modello 3D;

¹Per modifiche PED si intendono le modifiche ai prodotti standard a catalogo che rientrano nelle famiglie approvate in conformità alla direttiva PED 2014/68/UE

- implementazioni verifiche;
- implementazioni di processo.

In questa fase è stato utile svolgere un esercizio di espansione del problema, cercando di analizzarlo da differenti punti di vista. Infine, per definire il problema, si sono prioritizzate le aree di interesse sotto quattro macro argomenti:

1. statistiche quantitative;
2. sviluppo di strumenti;
3. procedure interne;
4. gestione del flusso di dati.

Il primo punto racchiude tutte le informazioni presentate nel capitolo 3.2.3, garantendo che la definizione del problema sia basata su dati oggettivi. Il punto successivo riassume le informazioni relative alle migliori proposte dagli utenti per gli strumenti già in uso. Il terzo punto comprende l'analisi svolta per capire le metodologie attualmente in essere per svolgere le operazioni per completare il processo di realizzazione di un disegno RDO e successivo disegno VES. Infine, l'ultimo punto condensa le informazioni riguardanti la gestione attuale del passaggio di dati tra gli operatori.

Una volta svolta l'espansione del problema, si può convergere sulla definizione del problema. In questo caso dopo attente analisi si è giunti alla seguente definizione:

"Nel processo di realizzazione di una richiesta d'offerta, per un serbatoio personalizzato basato su un modello standard presente a catalogo, l'aspetto principale su cui è possibile intervenire per ottimizzare l'efficienza risiede nella gestione delle modifiche più frequentemente richieste dai clienti e che comportano un impatto limitato sul progetto complessivo. Tale ottimizzazione è finalizzata a ridurre il tempo dedicato al controllo da parte delle risorse impiegate in attività di maggiore valore aggiunto per l'azienda."

Il processo di verifica di un progetto, se considerato isolato, non risulta particolarmente oneroso in termini di tempo, grazie all'efficienza dimostrata dai tecnici coinvolti. Analogamente, la realizzazione di un disegno, presa singolarmente, non presenta criticità rilevanti. Tuttavia, l'integrazione di questi due processi, nel contesto delle priorità aziendali, comporta un significativo allungamento dei tempi necessari per il completamento di una richiesta d'offerta. Questo ritardo è principalmente

imputabile ai tempi di attesa associati a ciascuna revisione richiesta per apportare le necessarie correzioni.

3.4 Ideazione

In questa fase del processo di design thinking, non si vuole pensare alla fattibilità delle idee, l'obiettivo è trovare il maggior numero di idee creative per affrontare il problema da un punto di vista mai esplorato. La fase successiva di prioritizzazione servirà a scremare le idee, ma bisogna separare le due fasi per non limitarsi.

Il metodo più usato quando si fa design thinking è l'ideazione veloce. Questa pratica permette di pensare poco e scrivere senza analizzare le idee, in modo tale da considerare anche i percorsi che non si sarebbero mai proposti a mente lucida.

Questo genere di esercizio è stato proposto durante una riunione insieme al responsabile del dipartimento commerciale e la responsabile dell'ufficio tecnico. In particolare, si è discusso del flusso dei dati e degli strumenti utilizzati nel processo, dando particolare attenzione alla fase di attribuzione dati durante l'acquisizione di un progetto.

Alla fine del brainstorming si è giunti alla conclusione di integrare tre strumenti già esistenti, potenziarli e automatizzare il processo il più possibile. L'idea alla base, era di inserire i dati del progetto una volta sola all'interno di un modulo che avrebbe trasferito i dati al configuratore. Una volta personalizzato il serbatoio e ottenuto i disegni tecnici, il flusso di dati sarebbe continuato in un foglio di calcolo che avrebbe redatto una relazione tecnica anche secondo gli standard ASME, se necessario.

Unificando il processo, si sarebbero ottenuti diversi vantaggi:

1. meno dati mancati;
2. ridotto le interazioni tra disegnatore e ufficio calcoli per i controlli automatizzati;
3. controllo sul flusso di informazioni;
4. diminuito il reinserimento di dati;
5. archiviazione di un progetto con dati aggregati.

3.4.1 Prioritizzazione

Il passaggio successivo è stato analizzare il progetto nella sua interezza, andando ad esaminare quali fossero gli obiettivi da darsi per completarlo nei tempi prestabiliti.

Al fine di ottimizzare il risultato, è stata data massima importanza allo sviluppo del configuratore, in quanto nodo centrale del sistema. L'obiettivo primario è stato equiparare il precedente configuratore, in termini di funzionalità. Tale scelta si è rivelata fondamentale per selezionare le informazioni caratteristiche del progetto, che successivamente sarebbero state estratte da un possibile modulo a monte. Avendo svolto il lavoro di confronto con gli utenti, la progettazione del configuratore è risultata nettamente più integrata nell'ottica del progetto generale.

In parallelo allo sviluppo del configuratore, è stata portata avanti la realizzazione del modello 3D parametrico in SolidWorks, con l'obiettivo iniziale di riuscire a realizzare le configurazioni standard a catalogo.

Lo sviluppo del modulo di attribuzione dati non è stato portato avanti, in quanto le informazioni raccolte hanno favorito lo sviluppo di un altro strumento che si stava implementando internamente. L'idea proposta non è stata scartata completamente, ma si è preferito investire maggiormente sul configuratore cercando di svilupparlo tenendo a mente della possibile integrazione futura.

Per quanto riguarda l'integrazione del configuratore in un foglio di calcolo per ottenere una relazione tecnica secondo il codice di calcolo ASME, è stato redatto uno studio di fattibilità del progetto, si veda il capitolo 5.3, ma si è lasciata l'implementazione a un secondo momento per motivi di tempo.

3.5 Prototipazione

Il *Minimum Viable Product* (MVP) è la versione più semplificata possibile di quello che sarà il prodotto finale. Si sviluppa un MVP per testare e sperimentare l'idea iniziale, identificarne i problemi e apportare miglioramenti prima di svilupparla completamente, in questo modo si cerca di minimizzare il rischio di investire risorse in un progetto fallimentare. In quest'ottica sono stati sviluppati:

- nuovo modello 3D in SolidWorks;
- nuovo configuratore Excel;
- nuovo foglio di attribuzione dati per l'ufficio commerciale.

Per quanto riguarda il modello, si è iniziato ad analizzare le logiche di progettazione del precedente configuratore. In questa prima fase è stato fondamentale il lavoro dei disegnatori, che avevano predisposto il modello dell'assieme per la famiglia

PEDC010V0 e raccolto il materiale necessario per configurarlo con i componenti utilizzabili secondo le indicazioni in famiglia e gli standard di produzione interni.

Per completare il prototipo, è stato collegato l'assieme a una tabella dati di Excel per renderlo completamente parametrico e dunque controllabile dal configuratore. In più sono stati aggiunti e controllati i diversi sottoassiemi e parti configurate che compongono l'insieme dei componenti montabili. L'obiettivo è stato raggiunto quando le configurazioni standard sono risultate realizzabili dal prototipo del modello 3D.

Il foglio di attribuzione dati è stato realizzato, ma successivamente non è più stato implementato. Questo prototipo è stato utile a comprendere le potenzialità del sistema e ha raccolto al suo interno le informazioni esposte precedentemente.

Per quanto riguarda il configuratore, il prototipo doveva riuscire a equiparare le caratteristiche del precedente configuratore e comandare correttamente il modello 3D provvisorio. Per validare velocemente il processo, le verifiche tecniche delle configurazioni non sono state sviluppate subito, ma si è preferito riuscire a controllare il modello 3D dal configuratore.

3.5.1 Configuratore PEDC009V0

Il configuratore sviluppato si basava su una ricerca indicizzata, mediante un foglio Excel, dei serbatoi appartenenti alla famiglia presenti sul catalogo. Una volta selezionata una variante, veniva automaticamente compilata una tabella con i principali parametri caratteristici della configurazione standard. Successivamente, l'utente poteva modificare le connessioni e la tipologia di gambe, controllando infine la fattibilità della configurazione proposta. Il precedente configuratore si concentrava sui seguenti controlli:

- verifica della corretta compilazione della tabella dei parametri;
- controllo del numero minimo di ispezioni;
- verifica della distanza N delle connessioni (Sez. 2.2.5);
- verifica della distanza M delle connessioni (Sez. 2.2.5).

Una volta configurati i componenti del serbatoio, venivano determinati i codici interni e le relative proprietà. Grazie all'univocità di tali codici, era possibile richiamare i modelli in SolidWorks e verificarne l'accoppiamento mediante la tabella

dati di controllo dell'assieme. Al fine di facilitare tale controllo, si è cercato di standardizzare la tipologia dei componenti, limitando il campione selezionabile.

Per ogni componente digitalizzato, erano necessari parametri specifici per effettuare i controlli. Ad esempio, per manicotti e le connessioni flangiate era indispensabile conoscere il diametro esterno del tubo e il diametro nominale. Con queste informazioni, era possibile confrontare i risultati dei controlli e verificare la fattibilità della configurazione prima di procedere con eventuali modifiche all'assieme.

Nell'ambito dell'automazione della messa in tavola del serbatoio, tutti i componenti non modificabili sono stati fissati, stabilendo così un limite di applicabilità dello strumento. Inoltre, si introdusse uno storico dei serbatoi creati tramite il configuratore, utile per la ricerca di progetti passati.

Il configuratore è stato sviluppato attraverso una combinazione di programmazione in VBA e l'utilizzo delle formule di Excel. Questo approccio ibrido ha permesso di effettuare rapidamente controlli complessi, che sarebbero stati difficili da implementare utilizzando esclusivamente le formule. L'algoritmo in VBA si basava prevalentemente sull'uso di tabelle (List Object) come struttura dati, permettendo l'incrocio dei dati grazie a cicli *for* e condizioni *if* annidate, alternate all'uso di funzioni di ricerca come *xlookup*.

Questa struttura, sebbene funzionale, presentava alcune criticità. Essendo la tabella un oggetto indicizzato, era necessario conoscere il numero di riga e di colonna per identificare una cella. Inoltre, la continua comparazione tra dati presenti nel foglio (I/O del disco) e dati salvati in memoria rallentava il processo. Sebbene gli accessi in memoria siano molto più veloci rispetto agli accessi al disco, per operazioni che richiedono alta velocità ed efficienza, è preferibile l'uso di array e dizionari, che pur richiedendo maggiore memoria garantiscono prestazioni migliori. Tuttavia, per operazioni semplici o in contesti con limitate risorse di memoria, l'accesso diretto ai fogli di calcolo può essere una soluzione accettabile, a fronte di una performance inferiore.

3.6 Testing

Il processo di verifica è stato costante e continuativo durante la prototipizzazione, insieme alla responsabile dell'ufficio tecnico, sono stati svolti diversi controlli, in particolare ci si è concentrati su due tipologie di validazione:

- validazione del prodotto;

- validazione del processo.

Nell'ambito del design thinking un principio alla base del testing è "*Fail fast, learn faster*", in quest'ottica sono state fatte prove dal primo momento, in modo da accumulare dati per migliorare e completare il configuratore il prima possibile.

3.6.1 Validazione del prodotto

In questo primo caso, è stato fondamentale che l'intero programma restituisse i risultati corretti dei controlli tecnici implementati. Prima di arrivare a questo punto, tuttavia, sono stati fatti i necessari test parziali di ogni parte del processo, come verrà spiegato più nel dettaglio nel capitolo 4.4. La validazione del prodotto è avvenuta riproducendo progetti reali e casi limite con il configuratore verificando i risultati che il programma restituiva.

Essendo i test a risposta binaria è stato importante chiarire i limiti di applicabilità del configuratore, digitalizzando tutte le informazioni presenti sui disegni della famiglia. In questo modo è stato anche possibile unificare la numerazione delle connessioni generalizzando il sistema a più tipologie di serbatoi. Tali modifiche hanno influenzato l'aggiornamento del catalogo 2024/2025 andando a cambiare la logica di presentazione dei parametri costruttivi del prodotto. Questo esempio è indice di come il progetto sia perfettamente integrato tra le varie funzioni aziendali e di come esse abbiano collaborato in modo trasversale.

3.6.2 Validazione del processo

La metodologia più usata per controlli di questo tipo è il così detto *conciierge experiment* che consiste nel guidare l'utente passo per passo nell'uso del programma. Grazie a questo controllo, è stato possibile correggere in fase di prototipizzazione diverse barriere che rendevano l'esperienza d'uso più sensibile a errori. Una fra tutte, è stata l'implementazione di un'interfaccia grafica più intuitiva e semplice da usare rispetto alla compilazione manuale di una tabella dati.

Grazie a questa tipologia di test è stata migliorata anche la fase di elaborazione della tavola RDO e VES, collaborando con i disegnatori e concordando con la responsabile dell'ufficio tecnico uno standard da seguire. Questo genere di progettazione in ambito di design thinking viene definita *User-Centered Design* (UCD), ovvero mettere al centro del processo di progettazione l'utente, assicurandosi che le soluzioni proposte siano basate sulle sue reali esigenze. Così facendo si è riusciti a mostrare le

potenzialità del configuratore agli utenti, coinvolgendoli e riducendo di conseguenza la resistenza al cambiamento.

3.7 Implementazione

Come già esposto nella presentazione della metodologia, il miglioramento continuo unito a l'iterazione di prototipazione, test e implementazione, è fondamentale per la buona riuscita del progetto. Nel capitolo 4.2 si parlerà ampiamente delle caratteristiche che contraddistinguono il configuratore, le principali sono:

- layout migliorato;
- integrazione migliorata con il modello 3D;
- interfaccia grafica;
- sviluppo dello schema di foratura;
- integrazione piastre di rinforzo per grandi connessioni flangiate;
- ricerca serbatoio mediante parametri;
- scelta tipologia di gambe.

Le implementazioni riassunte sopra, sono state introdotte gradualmente man mano che le precedenti venivano validate. Molte funzionalità sono state aggiunte in seguito all'identificazione di limitazioni durante i test su casi reali.

Capitolo 4

Configuratore per la famiglia di diverse taglie di recipienti in pressione per accumulo di gas compressi

Il presente capitolo si propone di descrivere in dettaglio il funzionamento del sistema sviluppato per configurare i prodotti appartenenti alla famiglia PEDC010V0, con particolare attenzione alla risoluzione delle problematiche precedentemente identificate.

4.1 Introduzione al sistema di configurazione

È stata condotta un'analisi approfondita del configuratore della famiglia PEDC009V0, in collaborazione con lo sviluppatore, per comprendere le scelte progettuali adottate. Questo approccio ha consentito di costruire il nuovo configuratore su basi solide, evitando una riprogettazione completa e sfruttando i punti di forza della versione esistente.

Successivamente, è stata svolta un'analisi di fattibilità riguardante l'utilizzo delle soluzioni precedentemente impiegate, valutandone l'applicabilità rispetto alle complessità specifiche della famiglia di prodotti in esame. Di comune accordo con la responsabile dell'ufficio tecnico, si è deciso di mantenere invariato il linguaggio di

programmazione, adottando anche per la nuova versione del configuratore il *Visual Basic for Applications* (VBA).

Gli elementi che costituiscono il sistema sviluppato sono:

- configuratore: File Excel utilizzato come interfaccia di configurazione del serbatoio;
- tabelle dati: Files Excel di controllo dei parametri dei modelli 3D collegati;
- modelli 3D: realizzati tramite il software SolidWorks;
- file tavola: File SolidWorks associato ai modelli 3D, utilizzato per la generazione della documentazione tecnica.

Il diagramma di flusso riportato in figura 4.1 rappresenta il processo nella sua interezza.

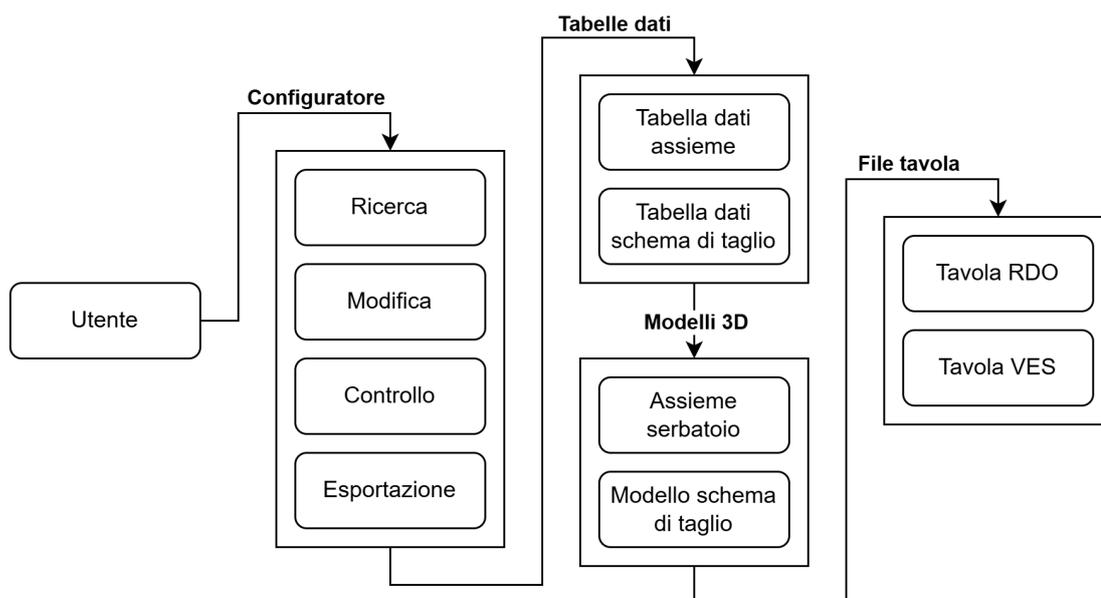


Figura 4.1: Diagramma di flusso del sistema

4.1.1 Descrizione della famiglia PEDC010V0

La famiglia PEDC010V0 è un'insieme di serbatoi in acciaio al carbonio approvati secondo la Direttiva 2014/68/UE. All'interno della famiglia sono descritte 22 varianti

di recipienti in pressione, di cui 15 referenze sono state selezionate per essere integrate nel configuratore. Le varianti scelte sono:

- 60V012;
- 60V016;
- 50V012;
- 50V016;
- 40V012;
- 40V016;
- 30V012;
- 30V016;
- 20V012;
- 20VL16;
- 15V012;
- 15V016;
- 100012;
- 100016;
- 08V012.

I codici riportati rappresentano la combinazione del volume interno del serbatoio e la pressione d'esercizio¹. Le varianti selezionate sono le più richieste dai clienti tra quelle presenti in famiglia, andando così a coprire la richiesta evidenziata nel paragrafo 3.2.3.

Le pressioni d'esercizio ammissibili sono 12 e 16 bar² e l'intervallo di temperatura d'esercizio va da -20 °C a +80 °C. Quest'ultimo parametro riveste particolare importanza per il cliente finale, poiché i materiali che costituiscono il recipiente in pressione devono essere compatibili con tali condizioni termiche. Di conseguenza, la scelta del prodotto è strettamente correlata all'ambiente e all'impianto in cui verrà installato.

I fluidi che possono essere contenuti nei serbatoi della famiglia analizzata possono essere anche di grado 1 e il codice di calcolo usato è la V.S.R. Rev. 95 Ed. 99.

4.2 Caratteristiche del configuratore

Nel paragrafo seguente si analizzeranno approfonditamente le diverse operazioni svolte dal configuratore e le scelte progettuali adottate volte a ottenere i risultati richiesti.

¹Es.: 50V016 è un serbatoio avente capienza 5000 L e una pressione d'esercizio pari a 16 bar.

²Ad eccezione della variante 08V012, disponibile a catalogo esclusivamente con una pressione di esercizio di 12 bar.

4.2.1 Architettura del database

La prima fase di sviluppo del configuratore è stata la digitalizzazione e aggregazione dei dati relativi alla famiglia scelta, al fine di ottenere un archivio interpretabile e accessibile rapidamente su Excel. Dunque, si è svolta una ricerca interna per poter ottenere i dati necessari per realizzare un database con i parametri standard dei prodotti in famiglia a catalogo. Per quanto riguarda i dati tecnici, ci si è basati principalmente sul disegno d'assieme della famiglia, da cui si sono ricavati i limiti di progettazione per ogni variante. Dalla tavola in questione, sono stati estrapolati per ogni serbatoio analizzato dati come:

- volume;
- pressione d'esercizio;
- pressione di test;
- dati geometrici del fasciame e del fondo;
- numerosità e tipologia di ispezioni;
- dati da riportare sulla targa del serbatoio;
- materiali utilizzabili;
- tipologia di saldatura dei componenti;
- spessori e diametri a seconda della variante sia dei tubi per le flange che per i manicotti.

Allo scopo di rendere il configuratore in grado di riprodurre velocemente una qualsiasi configurazione standard di un prodotto in famiglia riportata nel catalogo, quest'ultimo è stato una fonte molto importate per la creazione del database. Inoltre, il catalogo presenta il primo sistema di codifica prodotto che un possibile cliente incontra.

Ogni prodotto presente a listino viene identificato con un codice VEC univoco, ma ad esso sono collegati più codici VES di disegni definitivi. Le tavole in questione, possono differire dal prodotto riportato sul catalogo per determinate personalizzazioni come la verniciatura, la tipologia di connessioni o una particolare configurazione.

Con la stessa logica, si comprende come a una singola variante siano collegati più codici VES, dunque, incrociando i due diversi sistemi di codifica ci si è ricondotti a una corrispondenza biunivoca tra codice VEC, codice VES e variante della famiglia per quanto riguarda uno standard di partenza. I disegni VES considerati come standard, sono stata la base per poter modellare l'assieme 3D andando a immagazzinare tutte

le proprietà dei vari componenti che compongono i diversi serbatoi sia all'interno dei modelli che nel database del configuratore.

Nell'ottica della standardizzazione, è stata condotta una verifica approfondita dei codici interni relativi ai componenti riportati nei disegni VES analizzati. Questo processo ha permesso di identificare e uniformare, ove possibile, l'utilizzo dei componenti, con l'obiettivo di ridurre il numero di referenze e semplificare la gestione degli stessi.

La famiglia di prodotti oggetto di analisi è principalmente prodotta in serie, pertanto numerosi aspetti tecnici, come le altezze delle connessioni, le tipologie di saldatura e alcune distanze minime, oltre a dover rispettare i requisiti imposti dal codice di calcolo, sono stati soggetti a scelte produttive consolidate nel corso degli anni. Si è prestata particolare attenzione a comprendere e integrare tali scelte nel modo più efficace all'interno del software di configurazione.

Una volta raccolti i dati necessari, questi sono stati organizzati e strutturati in diverse tabelle all'interno di due fogli Excel, nascosti all'utente nel file del configuratore. La prima tabella aggrega tutti i dati standard relativi a ciascuna variante della famiglia di prodotti, mentre nel secondo foglio sono state create tabelle riassuntive delle possibili scelte dei componenti, con particolare riferimento alle informazioni che vincolano tali scelte in funzione della variante specifica.

4.2.2 Procedura di ricerca delle varianti

Il configuratore si avvia con una maschera iniziale che consente di selezionare la variante di partenza per procedere con le personalizzazioni. Come illustrato in figura 4.2, l'interfaccia permette la ricerca della variante desiderata tramite il codice VEC del prodotto. Considerando che il database è stato limitato a una singola famiglia di prodotti, la combinazione dei parametri di volume e pressione è stata utilizzata come chiave univoca per identificare il codice VEC corrispondente alla variante ricercata.

Al fine di agevolare il processo di ricerca, è stata sviluppata un'interfaccia grafica intuitiva che guida l'utente nella selezione dei parametri, limitando le scelte possibili. Le figure 4.3 e 4.4 mostrano le schermate attraverso le quali l'utente può interagire con il sistema.

Basandosi sui dati contenuti nel database, la tabella dei parametri del serbatoio, mostrata in figura 4.5, viene automaticamente popolata con i valori standard derivati dai disegni di riferimento. Questa operazione di inizializzazione attiva il foglio successivo, consentendo all'utente di proseguire nel processo di configurazione.

Inserire Codice VEC :

Interfaccia di inserimento

Ricerca Codice VEC

Volume (L) :

Pressione (bar) :

baglioni
pressure solutions

Figura 4.2: Foglio "RICHIESTA"

Inserire Codice VEC ✕

Figura 4.3: Interfaccia grafica di ricerca codice mediante codice VEC

Inserire i parametri di ricerca... ✕

Pressione:

Volume:

Figura 4.4: Interfaccia grafica di ricerca codice mediante pressione e volume

4.2.3 Automatizzazione della compilazione dei parametri standard

In figura 4.5 è illustrato il risultato finale del processo di compilazione automatica di una configurazione standard.

Per effettuare una corretta interrogazione del database, è innanzitutto necessario incrociare il codice VEC con la variante corrispondente. Identificato il serbatoio, le

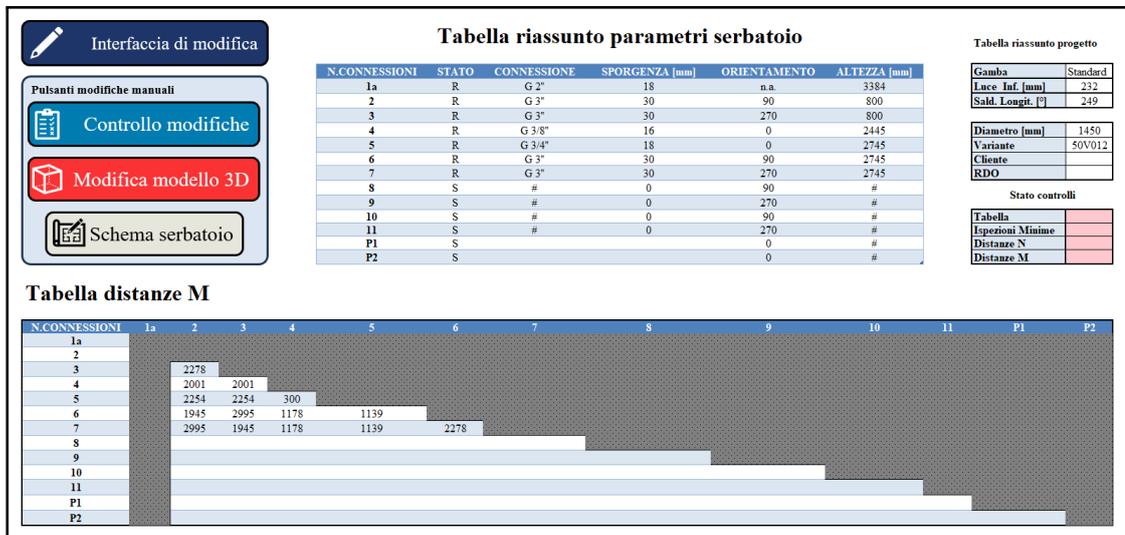


Figura 4.5: Foglio PEDC010 VERT

informazioni presenti nel database devono essere trasferite nelle celle appropriate. In questa fase, è stato adottato un approccio radicalmente diverso rispetto a quello utilizzato nel precedente configuratore.

I database vengono temporaneamente memorizzati in strutture dati presenti nella memoria locale, note come dizionari annidati (figura 4.6). Le informazioni, richiamate dai dizionari, vengono poi trasferite in una struttura dati intermedia, denominata array (figura 4.7), anch'essa situata nella memoria locale, dove la tabella viene compilata riga per riga. Una volta completata, la tabella viene scritta in un'unica operazione sulla memoria del disco, ossia sul file, riducendo significativamente il numero di operazioni di lettura e scrittura su disco.

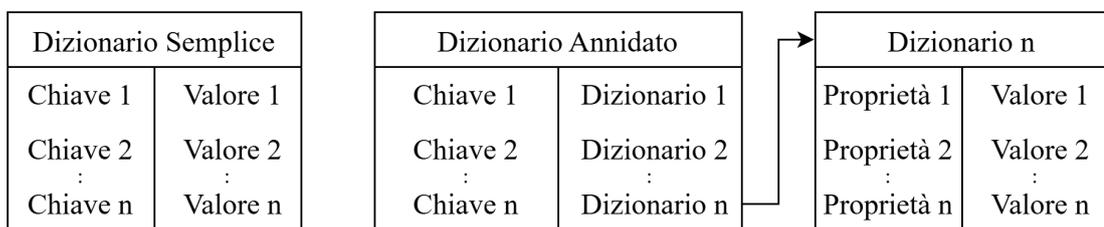


Figura 4.6: Struttura dati dizionari

Il sistema di acquisizione dati, elaborazione e scrittura descritto sopra sarà utilizzato ripetutamente all'interno del configuratore, in quanto rappresenta il metodo

		Indici di riga		
		Indice 0	Indice 1	Indice 2
Indici di colonna	Indice 0	A[0,0]	A[0,1]	A[0,2]
	Indice 1	A[1,0]	A[1,1]	A[1,2]
	Indice 2	A[2,0]	A[2,1]	A[2,2]

Figura 4.7: Struttura dati array

più efficiente per gestire questa tipologia di dati utilizzando VBA [11]. Di seguito, si illustrano i principali problemi che sono stati affrontati e risolti per garantire una corretta compilazione e funzionamento del sistema.

Sporgenza del manicotto del fondo

In fase di produzione, durante la saldatura dei manicotti standard di diametro G 2" sul fondo, viene impiegato un riscontro per posizionare il bocchello in modo tale che rimanga a filo interno della lamiera. Poiché i fondi sono prodotti in serie e non è possibile distinguere quale sarà utilizzato come chiusura superiore o inferiore, questa convenzione è progettata per evitare la formazione di zone di ristagno nei pressi dell'imbocco, qualora il serbatoio contenga liquidi.

Nel configuratore, questa operazione si traduce nel controllo dello spessore nominale del fondo e della sporgenza totale del manicotto, richiedendo il calcolo della differenza tra questi due valori. Il configuratore precedente, caratterizzato da una minore variabilità nello spessore dei fondi, non richiedeva l'implementazione di tale funzione.

Per consentire il montaggio di gambe di altezze diverse da quelle standard, è stato necessario calcolare le quote totali come somma delle componenti parziali, come illustrato nella figura 4.8.

Set di connessioni standard

La famiglia PEDC010V0 comprende diverse sotto-categorie:

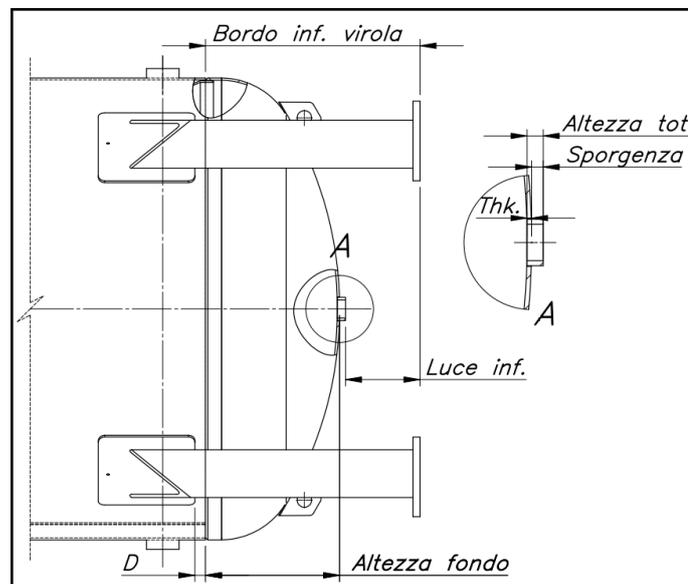


Figura 4.8: Schema sporgenza del manicotto sul fondo

1. serbatoi verticali verniciati, con capacità variabile tra 800 e 3000 L;
2. serbatoi verticali *oversize*, con capacità variabile tra 4000 e 6000 L.

La seconda categoria di serbatoi *oversize* è ulteriormente suddivisa in due sottocategorie: bassa pressione (12 bar) e alta pressione (16 bar), generando così tre distinti gruppi di serbatoi. La differenziazione tra questi gruppi è basata sul set di connessioni previsto a catalogo. Ogni gruppo presenta specifiche varianti di manicotti, rendendo più complesso il processo di compilazione della sporgenza e, conseguentemente, la determinazione del codice interno di riferimento del componente. La sporgenza è fondamentale per garantire la standardizzazione e, in particolare, per la compatibilità con il sistema di saldatura previsto per ciascun manicotto all'interno della famiglia.

Configurazioni standard delle connessioni

Ogni variante è caratterizzata da una specifica configurazione delle connessioni standard riportata a catalogo; pertanto, è essenziale incrociare correttamente i dati relativi a quote, quantità e tipologia di connessione. La figura 4.9 illustra la generalizzazione delle possibili configurazioni e delle quote principali indicate nei disegni standard. Questo schema è il risultato di un processo di standardizzazione

della convenzione adottata nel catalogo, in modo da uniformare tutte le sottocategorie presenti nella famiglia di prodotti.

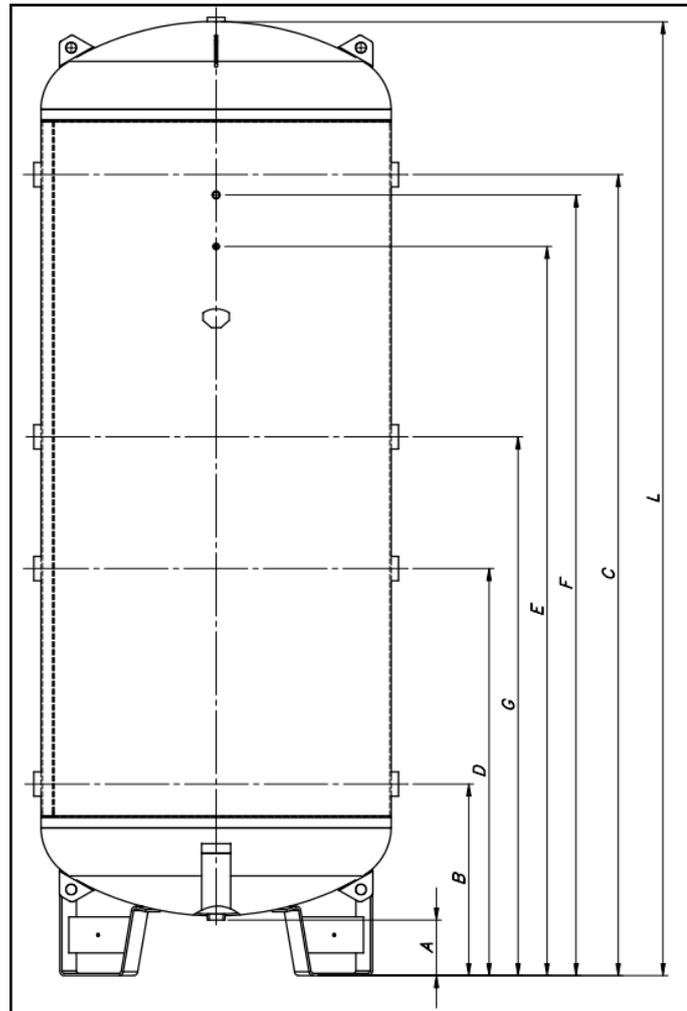


Figura 4.9: Schema configurazione serbatoio

La rilevanza di predisporre le configurazioni standard anche nei progetti destinati alle personalizzazioni risiede nelle consolidate scelte produttive che tali progetti comportano. L'obiettivo è quello di modificare solo ciò che è strettamente necessario, preservando il più possibile il progetto originario.

Orientamento della saldatura longitudinale

L'orientamento della saldatura longitudinale del serbatoio, variabile a seconda della specifica variante, costituisce un parametro cruciale per lo sviluppo corretto della lamiera e la disposizione del pattern delle aperture. La figura 4.10 illustra la convenzione adottata a tal fine. Durante la fase di compilazione automatica, questo dato viene estrapolato dal database, ma può essere modificato successivamente, rendendolo così un parametro controllabile.

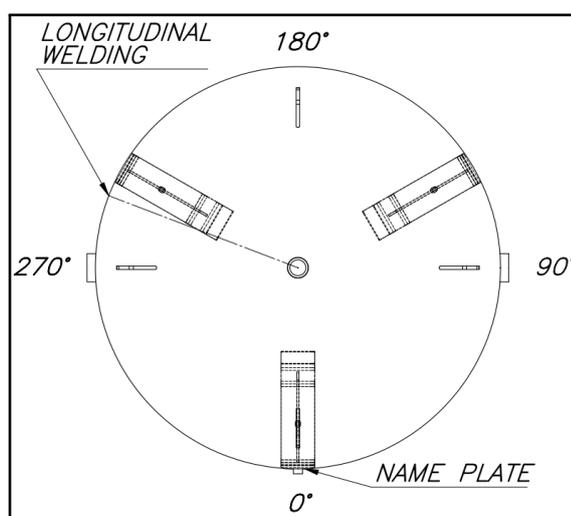


Figura 4.10: Schema convenzione orientamento

Luce inferiore

Come illustrato in figura 4.8, la luce inferiore rappresenta un dato essenziale per il corretto posizionamento delle connessioni. Questo valore varia in base alla tipologia di gamba montata, che dipende dalla variante selezionata. Inoltre, è stato reso un parametro modificabile dall'utente, consentendo di apportare modifiche intenzionali solamente nel caso della tipologia di gamba angolare.

4.2.4 Opzioni di personalizzazione del serbatoio

Il foglio che si apre al termine della ricerca, vedi figura 4.5, rappresenta la sezione più rilevante del configuratore. In questo foglio, l'obiettivo è applicare le modifiche richieste dal cliente, verificarne la fattibilità e caricare la configurazione nel modello

3D per generare la tavola desiderata. Il configuratore consente di eseguire diverse aggiunte e modifiche al serbatoio, tra cui:

- modificare l'altezza di una connessione;
- modificare la tipologia di connessione;
- modificare l'orientamento di una connessione;
- modificare la sporgenza di una connessione;
- aggiungere una nuova connessione;
- eliminare una connessione;
- aggiungere un'ispezione;
- modificare l'orientamento della saldatura longitudinale;
- modificare la luce inferiore del serbatoio;
- modificare la tipologia di gamba montata sul serbatoio;
- codificare il progetto e impostare il nome del cliente.

Anche per queste operazioni è stata sviluppata un'interfaccia grafica dedicata, progettata per facilitare l'interazione con il programma e semplificare l'inserimento dei dati. La schermata dell'interfaccia utente è illustrata in figura 4.11.

Il processo di applicazione delle modifiche è descritto in dettaglio nell'appendice A, dove è stata redatta una guida completa all'uso e alla manutenzione del programma.

4.2.5 Procedure di controllo

I controlli si suddividono principalmente in due categorie: vincolanti e non vincolanti. La seconda categoria comprende tutti gli avvisi che vengono notificati all'utente durante la modifica del serbatoio. Questi avvisi possono includere:

- rilevazione di eventuali modifiche apportate alla connessione sul fondo;
- verifica dell'utilizzabilità di un'ispezione in una determinata variante;
- verifica dell'utilizzabilità di una connessione flangiata in una determinata variante;

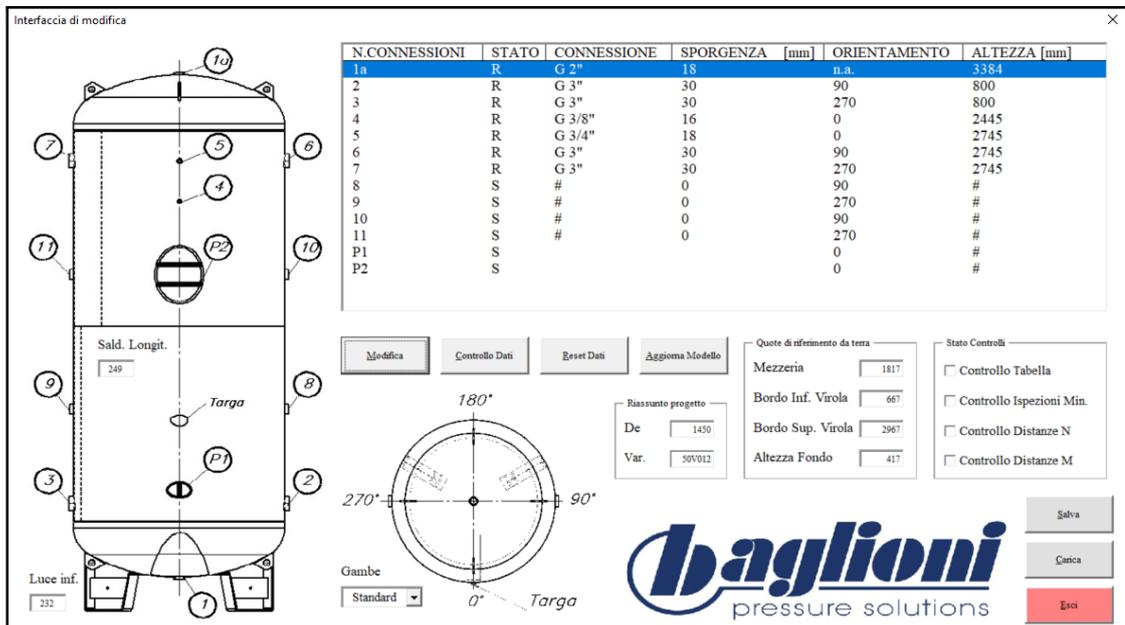


Figura 4.11: UI di configurazione serbatoio

- identificazione della necessità di un rinforzo per una connessione flangiata.

La categoria dei controlli vincolanti comprende le seguenti verifiche:

1. completa compilazione della tabella parametri;
2. numero minimo di ispezioni;
3. distanze N minime;
4. distanze M minime.

Questi controlli impediscono all'utente di avanzare nel processo finché il problema rilevato non viene risolto.

Controlli non vincolanti

Controllo dell'utilizzabilità di un'ispezione Nel database delle informazioni relative alla famiglia, è specificato se una determinata variante può essere dotata di una specifica ispezione. Per ispezione si intendono:

- passamano parallelo alla saldatura circonferenziale (PD1);

- passamano parallelo alla saldatura longitudinale (PD2);
- passo d'uomo parallelo alla saldatura circonferenziale (PM1);
- passo d'uomo parallelo alla saldatura longitudinale (PM2).

Il controllo viene eseguito nel momento in cui viene modificata un'ispezione all'interno della tabella dei parametri della configurazione. In determinate varianti, l'installazione di un'ispezione passo d'uomo richiede una piastra di rinforzo; in tali casi, l'utente riceverà una notifica di avviso.

Controllo dell'utilizzabilità di una connessione flangiata La configurazione di una connessione flangiata è composta da un tubo e una flangia, ognuno dei quali possiede un codice interno unico. Per una singola taglia di flangia, è possibile montare diverse varianti di tubi, creando configurazioni uniche. Le varianti dei tubi si differenziano principalmente per lo spessore della parete e per la lunghezza. Ogni taglia di flangia può essere associata a diverse configurazioni; tuttavia, una singola variante del serbatoio non può presentare più di una configurazione per la stessa taglia³. La sporgenza di montaggio, è stata determinata seguendo le convenzioni interne dettate dalle esigenze di produzione.

Teoricamente, esistono le tabelle in famiglia che indicano quali taglie di connessioni flangiate possono essere montate su ciascuna variante. Per standardizzare, queste sono state ridotte alle opzioni più utilizzate.

Per verificare l'idoneità di una connessione flangiata, sono state create classificazioni che rendono univoca la correlazione. In particolare, le connessioni sono state suddivise per taglie di flange e configurazioni. Per ogni variante di serbatoio, sono state determinate quali configurazioni fossero utilizzabili e quale fosse il valore della sporgenza. Questo approccio ha permesso di ottimizzare i processi di ricerca mediante l'uso dei dizionari annidati, abilitando un controllo in tempo reale attivato ogni volta che viene modificata la tipologia di connessione.

Per le 15 varianti della famiglia, sono state predisposte in totale 22 configurazioni di connessioni flangiate, corrispondenti a 13 taglie di flange uniche.

La figura 4.12 mostra il sistema di gestione delle connessioni flangiate. Per stabilire se una connessione flangiata è supportata da una variante del serbatoio, si effettua

³Vi è un solo caso eccezionale a questa regola: due configurazioni che, pur avendo la medesima taglia e tubi differenti, possono essere montate sulle stesse varianti di serbatoi.

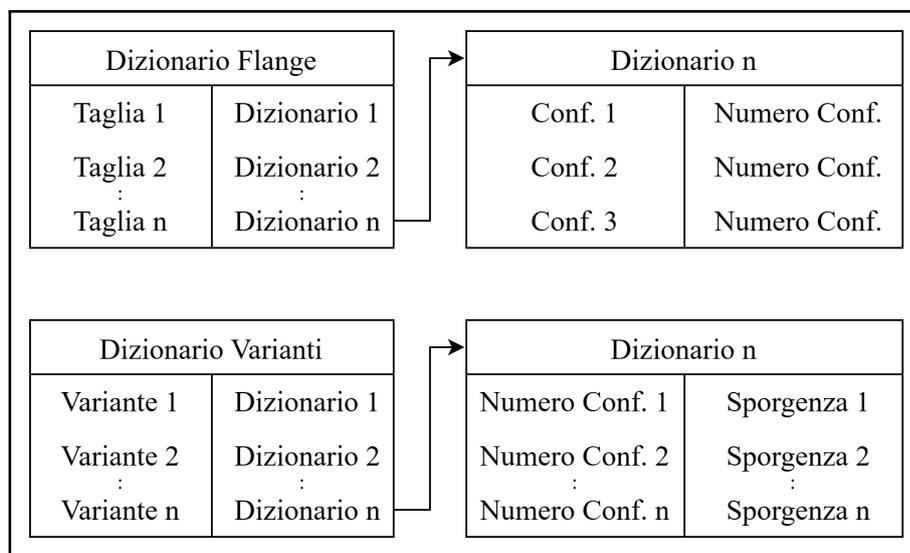


Figura 4.12: Struttura logica dizionari flange

un controllo all'interno del dizionario annidato che gestisce le configurazioni delle connessioni flangiate per quella variante. Vengono verificate tutte le configurazioni possibili per la taglia selezionata; se nessuna di queste configurazioni è presente nel dizionario della variante, significa che la taglia non è supportata.

Il principale vantaggio di questo sistema risiede nella completa digitalizzazione delle tabelle della famiglia, trasformando un processo complesso in un'operazione fluida e automatizzata. Grazie a questo approccio, non solo si risparmia tempo, ma si garantisce anche l'uso dei codici interni corretti per le connessioni flangiate, riducendo al minimo gli errori. Inoltre, la flessibilità del sistema consente un'espansione semplice e immediata, permettendo di integrare rapidamente nuove configurazioni man mano che le esigenze evolvono.

Controllo della necessità di un rinforzo per una connessione flangiata

Alcune connessioni flangiate, in base alla taglia e alla variante del serbatoio in cui vengono installate, richiedono l'utilizzo di una piastra di rinforzo per compensare l'area dell'apertura sul mantello. Nelle tabelle della famiglia sono indicate esplicitamente le dimensioni delle piastre in base alla taglia della connessione e le varianti per le quali è necessario il loro montaggio. Queste piastre vengono realizzate operativamente utilizzando gli sfridi della lamiera del mantello, ottimizzando così l'uso del materiale e riducendo gli sprechi.

Per determinare quali taglie necessitano della piastra di rinforzo, è stato implementato un sistema di controllo analogo a quello descritto nel paragrafo precedente. Attraverso l'uso di dizionari annidati, sono state associate le taglie critiche alle varianti che richiedono tale accorgimento. Verificando se la variante fosse critica, se la taglia fosse presente nel dizionario e se fosse specificata la dimensione della piastra di rinforzo, è stato possibile controllare efficacemente questo parametro.

Questo controllo è stato implementato per ridurre l'errore umano, permettendo la visualizzazione di un modello nell'assieme anche se incompleto di informazioni. Diversamente da quanto fatto per gli altri componenti, per le piastre di rinforzo si è preferito preimpostare tutte le possibili configurazioni, offrendo successivamente la possibilità di codificarle. Poiché i progetti che richiedono connessioni flangiate rinforzate sono relativamente rari in questo contesto, questo approccio ha consentito di mitigare l'aspetto più critico del problema.

Controllo della modifica della connessione sul fondo Nell'ambito delle personalizzazioni dei serbatoi standard a catalogo, si tende a limitare le modifiche alle connessioni sui fondi. Queste connessioni rappresentano punti critici nelle diverse stazioni di saldatura che costituiscono il processo di produzione del serbatoio. Fin dall'inizio, è stato chiarito che il configuratore non supporta la personalizzazione delle connessioni sui fondi. Pertanto, nel caso in cui si tentasse di modificare una connessione tramite la tabella dei parametri, verrebbe visualizzato un messaggio di errore, impedendo di procedere con lo strumento per questo tipo di progetto.

Controlli vincolanti

Controllo numero di ispezioni minime In base alla variante, un serbatoio deve rispettare specifici requisiti relativi al numero e alla tipologia di aperture destinate all'ispezione interna. Le ispezioni si suddividono in due categorie: ispezioni di tipo α e ispezioni di tipo β .

Le ispezioni di tipo α consistono in aperture sui fondi del serbatoio. Per motivi legati al processo produttivo, già illustrati in precedenza, ogni serbatoio della famiglia è dotato di un manicotto di diametro G 2" su ciascun fondo, garantendo così il rispetto di questo requisito.

Le ispezioni di tipo β richiedono invece un'apertura di diametro almeno 2" sul fasciame, situata a una distanza superiore o uguale a 200 mm dal bordo della virola. Il numero minimo di ispezioni di questo tipo deve essere pari a 2. Queste aperture,

pur essendo utilizzabili anche come linee funzionali, devono essere isolate e smontate durante le operazioni di ispezione. In alternativa alle aperture standard, possono essere utilizzate flange con diametro superiore a DN 50, purché anch'esse posizionate a non meno di 200 mm da un bordo. La necessità di rispettare il numero minimo di ispezioni β può essere soddisfatta anche mediante l'impiego di passa mano o di passi d'uomo.

L'obiettivo principale di queste ispezioni è garantire la possibilità di controllare lo stato interno del recipiente in pressione, consentendo la verifica di eventuali fenomeni di corrosione e l'ispezione delle saldature anche dall'interno.

Controllo distanza N minima Come dettagliato nel paragrafo 2.2.5, il controllo della distanza minima N garantisce che un'apertura sia posiziona a una distanza adeguata dal bordo della virola. Un aspetto cruciale di questo controllo è la distinzione tra le diverse tipologie di aperture, che includono:

- manicotti;
- flange;
- flange con rinforzo;
- ispezioni.

Per effettuare un confronto accurato delle distanze, è necessario convertire i diametri delle diverse tipologie di apertura in unità comparabili. In particolare:

- le taglie delle flange espresse in DN devono essere convertite in pollici;
- le ispezioni devono essere convertite in diametri equivalenti;
- le flange con rinforzo vengono riconosciute e trattate secondo un criterio specifico.

Una volta effettuate queste conversioni, il sistema verifica se la posizione del centro dell'apertura rispetti i requisiti di distanza dal bordo della virola o se la connessione sia stata posiziona erroneamente al di fuori del mantello. In caso di non conformità, il sistema fornisce la misura minima necessaria per rientrare nei limiti prescritti, facilitando così le correzioni da parte del disegnatore.

Le distanze minime N sono calcolate utilizzando tabelle derivate dalla formula del codice di calcolo, con un incremento basato sulle specifiche esigenze delle linee di produzione della famiglia. Per le flange rinforzate, è prevista una maggiorazione aggiuntiva della distanza minima N per garantire lo spazio per la saldatura durante il processo produttivo.

In aggiunta, durante questa fase di controllo, si verifica anche la posizione delle flange con diametro uguale o superiore a DN 250 rispetto alla saldatura longitudinale. Viene esaminato un intervallo in gradi attorno alla posizione della saldatura; se il centro della flange si trova entro questo intervallo, è necessario intervenire per garantire il rispetto delle specifiche progettuali.

Controllo distanza M minima Il controllo delle distanze tra aperture, come descritto nella formula del paragrafo 2.2.5, non si limita solo alle aperture orientate sullo stesso meridiano, ma include anche quelle posizionate a diversi angoli θ . L'approccio adottato prevede lo sviluppo della virola rispetto al raggio medio, per verificare che le aperture rispettino le distanze minime prescritte dalla formula.

Per eseguire questo tipo di controllo, è stato necessario mappare e classificare le connessioni, calcolando il loro ingombro totale radiale. Successivamente, si è proceduto a confrontare tutte le coppie uniche di aperture per verificare tutte le possibili distanze critiche rispetto alla distanza M minima teorica. Questo processo di confronto utilizza il principio combinatorio, dato dalla formula:

$$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (4.1)$$

Dopo aver ottenuto tutte le informazioni necessarie, il sistema evidenzia le distanze critiche che non superano i controlli e fornisce il valore minimo da rispettare per rimanere entro i limiti accettabili.

Il controllo è stato progettato per essere il più conforme possibile al codice di calcolo, generalizzando il processo per garantire l'aderenza ai requisiti normativi.

4.2.6 Esportazione e integrazione dei dati

Solo dopo aver superato tutti i controlli, la configurazione può essere esportata in SolidWorks. In questa fase, la tabella dei parametri deve essere rielaborata, modificata e adattata per conformarsi ai requisiti delle tabelle dati compatibili con il programma di modellazione. È importante notare che SolidWorks non accetta file Excel contenenti formule o *macro*⁴. Pertanto, è necessario compilare un file

⁴Una macro è una serie di comandi e istruzioni che vengono registrati o scritti per automatizzare un'attività ripetitiva mediante un singolo comando.

separato specificamente progettato per essere interpretato dal software. La tabella va compilata prevalentemente per controllare i seguenti elementi:

- bocchelli;
- ispezioni;
- gambe;
- piastre di rinforzo delle connessioni flangiate;
- proprietà.

Ogni riga della tabella controlla una variante di serbatoio in famiglia, dunque per compilare la riga corretta viene applicato un filtro avanzato momentaneo per identificare l'indice della riga che sarà modificata. È importante sottolineare che il trasferimento delle informazioni avviene tra due fogli di lavoro distinti. L'uso dei dizionari consente di velocizzare significativamente questa operazione, grazie alla gestione in memoria locale, evitando così la necessità di leggere e scrivere dati su disco continuamente.

Aperture

Ogni connessione predisposta deve essere correttamente compilata, specificando se la connessione sarà effettivamente montata sul serbatoio. In caso affermativo, sono necessarie ulteriori informazioni per vincolare la connessione, tra cui:

- tipologia di connessione: se si tratta di un manicotto o di una connessione flangiata;
- valore della sporgenza: la distanza rispetto alla parete esterna del serbatoio;
- orientamento: in conformità alla convenzione illustrata nella figura 4.10.

Per quanto riguarda l'altezza, le connessioni posizionate sopra la mezzeria nello schema 4.9 utilizzano valori positivi di accoppiamento per essere posizionate a partire dalla mezzeria verso l'alto. Al contrario, le connessioni situate sotto la mezzeria impiegano valori positivi di accoppiamento per posizionarsi dalla mezzeria verso il basso. Questa convenzione ha consentito di ridurre il numero di accoppiamenti, ma ha reso il modello più rigido. Pertanto, durante il trasferimento dei dati dalla

tabella dei parametri a quella dei dati per SolidWorks, il sistema di riferimento delle altezze viene convertito da uno globale che parte dal livello del terreno a un sistema di riferimento locale centrato sulla mezzeria del serbatoio.

Le ispezioni richiedono un dato in meno, poiché la sporgenza rimane costante indipendentemente dalla configurazione selezionata.

Gambe

Le gambe sono classificate in due categorie: gambe standard e gambe angolari.

Per le gambe standard, è necessario modificare lo stato dei modelli in conformità con lo standard della variante e abilitare la ripetizione circolare del modello. La famiglia prevede quattro tipologie di gambe standard, ciascuna associata a una variante specifica.

Per le gambe angolari, dato che il modello è gestito in modo diverso, come descritto nella sezione 4.3.2, è necessario fornire ulteriori due parametri: la configurazione e il valore della luce inferiore.

Piastre di rinforzo delle connessioni flangiate

L'uso di connessioni flangiate con rinforzo è relativamente raro, come già evidenziato. Tuttavia, sono state previste fino a quattro piastre di rinforzo. A differenza delle connessioni standard, in questo caso non era possibile determinare in anticipo in quale metà del serbatoio le piastre sarebbero state posizionate. Pertanto, si è scelto di predisporre entrambi gli accoppiamenti rispetto alla mezzeria, e in base alla posizione della connessione, verrà attivato uno dei due accoppiamenti.

I dati richiesti per le piastre di rinforzo includono: lo stato del modello, la configurazione, lo stato dell'accoppiamento dell'altezza e il valore a partire dalla mezzeria e, infine, l'orientamento. La sporgenza non è necessaria poiché le piastre di rinforzo sono vincolate a essere concentriche al mantello.

Schema di taglio

Per quanto riguarda lo schema di taglio, è necessario riportare le quote di tutte le aperture del fasciame, sviluppate sul diametro medio, insieme alle misure di larghezza, lunghezza e spessore della piastra. La dimensione dei fori che viene riportata è solo indicativa, in quanto le misure variano dalla tipologia di sistema di saldatura adottato.

I dati sono esportati in un file separato da quello utilizzato per l'assieme del serbatoio, mantenendo così distinte le due entità.

4.3 Progettazione dei modelli 3D

Nel paragrafo seguente si analizzeranno le diverse scelte di progettazione dei modelli che compongono l'assieme configurabile.

4.3.1 Implementazione delle parti configurate

La maggior parte dei modelli utilizzati nel configuratore sono parti configurate parametriche, due caratteristiche essenziali per semplificare e ridurre il numero di variabili da controllare nell'assieme del serbatoio.

Le parti configurate sono:

- virole;
- tubi;
- pad della gamba angolare;
- fondi;
- targa;
- piede della gamba angolare;
- manicotti;
- gamba angolare;
- flange;

Il principale vantaggio delle parti configurate è la riduzione del numero di modelli da gestire nell'assieme. Utilizzando parti configurate, è possibile impostare manualmente gli accoppiamenti tra oggetti una sola volta e successivamente modificare configurazioni e parametri tramite la tabella dati. Questo approccio accelera significativamente il processo di progettazione, poiché consente di modellare un solo componente e variare i parametri in fase di progettazione [12]. Inoltre, la compilazione delle proprietà è più agevole grazie all'uso di tabelle di configurazione in SolidWorks o di tabelle dati per i parametri variabili.

Tuttavia, l'uso delle parti configurate presenta anche alcune problematiche in termini di integrazione nel sistema aziendale. Ogni disegno deve essere rintracciabile e revisionabile. Raggruppando i componenti per categoria, si perde in parte la rintracciabilità mediante codice univoco, poiché si genera una copia scollegata del medesimo componente.

Parti standard

Per gli elementi del serbatoio che mantengono una configurazione fissa, come gli occhielli di sollevamento e le gambe standard, non è stato ritenuto necessario creare parti configurate. In questi casi, si è preferito utilizzare i modelli già presenti nel sistema aziendale, trasferendoli però in una cartella separata e indipendente dal server aziendale. Questa scelta ha consentito di svincolare il configuratore dall'infrastruttura aziendale, riducendo i rischi di compromettere i file originali e accelerando le fasi di testing e sviluppo del progetto.

Questa scelta comporta vantaggi e svantaggi: da un lato, ha facilitato e accelerato la fase di testing, riducendo il rischio di compromettere i file aziendali in caso di errori. Dall'altro, comporta una gestione separata delle parti, che può complicare l'integrazione e il controllo delle revisioni.

Schema di foratura

A differenza del configuratore precedente, il nuovo sistema adotta un approccio diverso per ottenere uno schema di foratura preciso della virola. In passato, si utilizzavano gli strumenti standard di SolidWorks, in particolare l'ambiente lamiera, che però non è stato progettato per la calandratura di piastre, ma piuttosto per l'industria delle lamiere piegate mediante macchine CNC. Il processo utilizzato in precedenza prevedeva la foratura manuale della virola partendo dall'ambiente assieme, lavorando su una lamiera già calandrata. Successivamente, il modello veniva salvato con un nome distinto per sviluppare la piastra tagliata. Tuttavia, si riscontrava che i fori risultavano ellittici anziché circolari. Per risolvere questo problema, era stata sviluppata una macro che calcolava un cerchio approssimativo delle dimensioni dell'ellisse, consentendo di ottenere manualmente lo schema desiderato per ciascuna apertura.

Il nuovo configuratore, invece, parte dall'obiettivo di ottenere uno schema 2D accurato della piastra sviluppata, completo delle quote delle posizioni dei centri dei fori e delle dimensioni principali. Per garantire un corretto controllo delle distanze minime M tra le aperture, come descritto nella sezione 4.2.5, è essenziale disporre di una mappatura delle aperture in un piano cartesiano. A tal fine, è stato creato un file parte parametrico che include tutti i fori gestibili dal configuratore, e tramite la tabella dati si gestisce l'attivazione dei fori e il loro posizionamento. La conversione da coordinate cilindriche a cartesiane è stata vincolata ai requisiti produttivi, poiché le piastre utilizzate seguono standard di disegno specifici. Per gestire lo sviluppo e il

posizionamento dei pattern di fori, è stata applicata una normalizzazione dei valori in base agli standard delle piastre.

Il risultato finale del nuovo configuratore soddisfa le tolleranze richieste e consente di generare automaticamente un modello 3D della virola forata, oltre a produrre direttamente un disegno 2D convertibile nel formato accettato per il taglio al plasma in produzione.

4.3.2 Ottimizzazione dei sottoassiemi

I sottoassiemi realizzati per la famiglia PEDC010V0 sono configurati, ma a differenza delle parti, non sono parametrici. Nello specifico, sono stati sviluppati tre sottoassiemi configurati:

1. connessioni;
2. ispezioni;
3. gamba angolare.

Il primo sottoassieme gestisce le connessioni, inclusi manicotti e connessioni flangiate. Questo approccio consente di trattare tutte le connessioni come un unico modello piuttosto che gestirle separatamente come parti distinte. Di conseguenza, si semplifica la modifica e si riduce il numero di accoppiamenti da controllare nella tabella dati, accelerando il processo di progettazione e migliorando l'efficienza.

Un caso particolare di sottoassieme è rappresentato dalle ispezioni. Sebbene le ispezioni siano già composte da un insieme di parti, l'implementazione di un sottoassieme configurato permette di controllare l'orientamento relativo dell'ispezione stessa. Questo permette di distinguere con precisione tra ispezioni con asse maggiore parallelo alla saldatura circonferenziale e quelle con asse maggiore parallelo alla saldatura longitudinale, garantendo una maggiore flessibilità e accuratezza nella configurazione.

Il terzo sottoassieme sfrutta appieno i vantaggi della configurazione e della parametrizzazione. In questo caso, sono stati uniti tre componenti che formano un semilavorato unico, combinando tre parti configurate e parametrizzando gli accoppiamenti tra di esse. Questo approccio riduce significativamente il numero di colonne nella tabella dati, ottimizzando la gestione delle configurazioni e semplificando la struttura del modello finale.

Questi sottoassiemi configurati contribuiscono a una progettazione più fluida e a un controllo più preciso, migliorando l'efficienza complessiva del processo di configurazione del serbatoio.

4.3.3 Strategie di gestione dell'assieme

Il modello è stato progettato con particolare attenzione agli accoppiamenti relativi, al fine di minimizzare le possibilità di errori durante le modifiche. In particolare, si è scelto di ancorare i componenti a elementi meno soggetti a variazioni, come i piani di riferimento. Nei casi in cui questo non fosse possibile, il problema è stato affrontato utilizzando parti configurate. Queste permettono di mantenere gli accoppiamenti tra superfici anche quando si cambiano le configurazioni della parte, una caratteristica che non sarebbe stata possibile con modelli separati.

Ogni variante di serbatoio presente in famiglia ha la propria configurazione, consentendo di mantenere invariati i componenti specifici della configurazione stessa, riducendo così il numero di parametri da controllare in fase di modifica. Questo approccio permette di evitare la necessità di rivedere l'intero assieme ogni volta, concentrandosi solo sugli elementi variabili. Inoltre, consente di compilare le proprietà della variante direttamente nelle tabelle della configurazione, garantendo che ciascuna configurazione contenga i propri dati unici e specifici. I seguenti componenti non vengono mai modificati in ciascuna variante:

- manicotto sul fondo;
- fondo;
- virola;
- occhielli di sollevamento;
- targa.

Grazie all'utilizzo delle configurazioni, è possibile riunire tutti i modelli all'interno di un unico file, che può essere gestito e controllato tramite una singola tabella dati.

4.3.4 Preparazione delle tavole tecniche

La tavola tecnica rappresenta il risultato finale di tutto il processo e si articola in due tipologie principali: il disegno RDO e il disegno VES. Il disegno RDO viene elaborato in una fase preliminare e inviato al cliente come primo progetto, con l'obiettivo principale di comunicare i cambiamenti richiesti mantenendo la riservatezza dei dati sensibili del progetto. Il disegno VES, invece, viene fornito in una fase successiva, una

volta che il cliente ha accettato il preventivo e l'ordine è stato confermato. Questo disegno deve includere tutte le informazioni necessarie per la produzione del serbatoio richiesto.

Per conciliare questi due scopi, è stata concessa al disegnatore la libertà di decidere quali parti della tavola rendere visibili o nascoste. La quotatura dei componenti, la bollinatura e le viste rimangono sostanzialmente invariate tra le due versioni della tavola. Le principali differenze riguardano la gestione della distinta dei materiali, le annotazioni e l'inclusione dello schema di foratura.

Grazie alle configurazioni dell'assieme, è stato possibile predisporre una tavola per ciascuna variante, inserendo tutte le informazioni necessarie per creare un disegno VES.

Una differenza sostanziale rispetto al vecchio configuratore, oltre all'integrazione dello schema di taglio, è rappresentata dall'introduzione di un nuovo standard di annotazione. In collaborazione con la responsabile dell'ufficio tecnico, sono state concordate le annotazioni per le tavole VES e RDO, adottando lo standard utilizzato dalla divisione SPE del gruppo Baglioni. Queste annotazioni sono state rese dinamiche attraverso l'utilizzo delle proprietà delle configurazioni, riducendo così il rischio di errori umani nella compilazione.

Inoltre, il cartiglio è stato automatizzato per includere automaticamente le informazioni del cliente e il codice del disegno, qualora fosse stata compilata la tabella corrispondente nel configuratore.

4.4 Validazione del configuratore

Nella sezione seguente verranno illustrate le modalità con cui il nuovo configuratore è stato testato e validato. L'obiettivo è fornire una panoramica dettagliata delle attività di testing, evidenziando come le analisi e le iterazioni abbiano contribuito a ottimizzare il configuratore per soddisfare al meglio le esigenze degli utenti finali.

4.4.1 Obiettivi e strategie di validazione

Il processo di validazione ha come obiettivo principale garantire che il configuratore rispetti le specifiche tecniche e soddisfi i requisiti del cliente. È cruciale assicurarsi che tutti i controlli implementati siano corretti e producano risultati accurati. Inoltre, è fondamentale che la tavola finale sia completa e precisa, rispondendo adeguatamente ai requisiti del progetto e garantendo la qualità e la funzionalità del sistema.

La metodologia di validazione adottata per il configuratore comprende diverse fasi di testing, ciascuna con specifici obiettivi e approcci, come descritto nel testo di riferimento [13, pp. 41-54].

Durante la fase *alpha* dello sviluppo software, sono stati eseguiti test unitari e test di integrazione in maniera iterativa. I test unitari hanno verificato il corretto funzionamento delle singole componenti del software, identificando eventuali errori a livello di codice. I test di integrazione hanno, invece, valutato le interazioni tra le diverse componenti, assicurandosi che l'integrazione produca i risultati desiderati e che le componenti collaborino efficacemente.

Successivamente, il *system testing* ha rappresentato una fase cruciale in cui l'intero sistema è stato testato come un'entità unica. Questo approccio ha permesso di verificare il corretto funzionamento del sistema a livello tecnico e di confermare che il software soddisfi le aspettative in termini di funzionalità, prestazioni e affidabilità. Il *system testing* ha garantito che tutte le componenti integrate lavorassero senza problemi e come previsto.

Il processo di validazione ha incluso anche uno *stress test*, progettato per valutare la stabilità del software spingendolo oltre i limiti operativi normali. Questo test è stato fondamentale per identificare eventuali punti deboli e garantire che il sistema potesse gestire carichi e condizioni estreme senza compromettere la sua funzionalità. L'obiettivo principale dello *stress test* è stato quello di delineare le procedure di utilizzo corretto e di evidenziare i limiti del software.

L'*acceptance testing* ha avuto il compito di confermare che il sistema rispondesse ai requisiti e alle aspettative dell'utente finale, determinando se il software era pronto per il rilascio in *beta*. Questo test, condotto in collaborazione con la responsabile dell'ufficio tecnico, si è concentrato su scenari reali di utilizzo del software per verificare che il prodotto fosse effettivamente utilizzabile e rispondesse alle esigenze del cliente.

Dopo il rilascio in *beta*, ogni modifica implementata è stata seguita da *regression testing*, essenziale per assicurare che le modifiche recenti non avessero introdotto nuovi difetti o causato regressioni nelle funzionalità esistenti. Il *regression testing* ha giocato un ruolo cruciale nel mantenere l'integrità del software durante l'evoluzione del prodotto. Inoltre, il *maintenance testing* è stato eseguito per garantire il corretto funzionamento del software dopo aggiornamenti e interventi sul database, assicurandosi che il sistema continuasse a operare come previsto dopo modifiche e aggiornamenti.

Il processo di validazione ha incluso anche i *compatibility test*, che hanno valutato il comportamento del software su diverse piattaforme fornite dall'azienda, assicurandosi che funzionasse correttamente per tutti gli utenti finali, indipendentemente dalla loro configurazione hardware di lavoro.

La fase beta ha coinvolto un gruppo selezionato di disegnatori per ottenere feedback reali e identificare difetti non emersi durante i test precedenti. Questo approccio ha permesso di raccogliere informazioni preziose sugli aspetti pratici del software.

Infine, il processo di validazione è stato ulteriormente confermato attraverso presentazioni a operatori esperti e test su casi studio reali. Questa fase ha incluso un controllo dettagliato delle tavole prodotte dal configuratore, simulando un controllo eseguito manualmente, per garantire la completezza e l'accuratezza dei risultati.

Questo approccio sistematico e dettagliato ha assicurato che il configuratore fosse validato in modo completo, soddisfacendo tutti i requisiti tecnici e le aspettative degli utenti finali.

4.4.2 Caso Studio

In questa sezione, viene analizzato uno dei numerosi casi studio utilizzati per validare il configuratore.

Il progetto verte sulla personalizzazione di un serbatoio verticale oversize con una capacità di 5000 L e una pressione di esercizio di 12 bar. Il cliente ha specificato l'installazione di due flange DN300 PN16 e ha richiesto l'aggiunta di un manicotto sul retro del serbatoio allineato con le altre aperture situate nella zona bassa. Inoltre, è stata richiesta una luce inferiore del serbatoio rispetto al suolo tale per cui si possano installare delle attrezzature particolari, l'ingombro è stato indicato nella documentazione fornita all'ufficio commerciale.

Il configuratore ha determinato il codice VEC del serbatoio mediante la ricerca per parametri, identificando la variante 50V012. Le quote di riferimento delle aperture sono riportate nella configurazione mostrata in figura 4.13. La numerazione presente nella tabella fa riferimento allo schema in figura 4.11. Per soddisfare le specifiche del cliente, è stato necessario modificare le gambe standard del serbatoio optando per la gamba angolare.

I controlli hanno evidenziato la necessità di cambiare l'orientamento della saldatura longitudinale, in quanto la configurazione standard risultava troppo vicina alle aperture delle flange. I restanti controlli sono stati superati e le tavole RDO e VES generate sono riportate in appendice B.

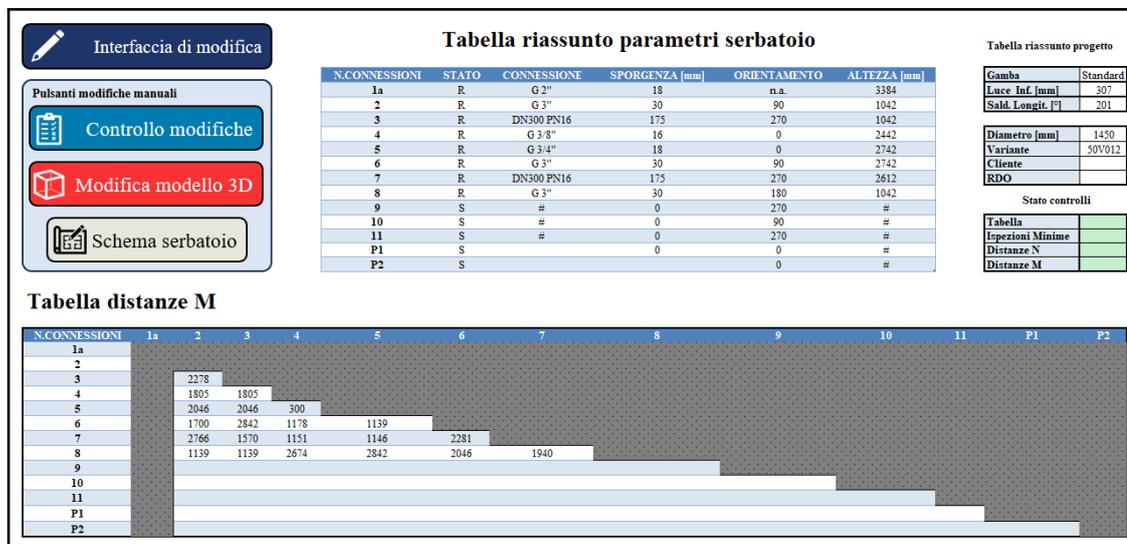


Figura 4.13: Configurazione caso studio

Il configuratore ha dimostrato la sua efficacia nel facilitare l'adattamento delle richieste del cliente ai vincoli tecnici del serbatoio. I controlli sulle distanze delle aperture hanno permesso di identificare la necessità di modificare l'orientamento della saldatura longitudinale e di aggiungere una piastra di rinforzo alle flange. Grazie a questi aggiustamenti, il serbatoio ha soddisfatto le specifiche tecniche e le esigenze richieste dal cliente.

Capitolo 5

Potenziali implementazioni

Nel capitolo seguente, verranno presentate e discusse le possibili implementazioni che, pur essendo state considerate durante lo sviluppo del sistema, non sono state effettivamente realizzate. Tali soluzioni, se sviluppate, potrebbero arricchire ulteriormente il sistema e offrire nuove funzionalità, rendendolo più versatile e completo. Si analizzeranno i motivi per cui queste idee non sono state implementate, i benefici che avrebbero potuto apportare e le limitazioni che ne hanno impedito lo sviluppo. L'obiettivo di questa analisi è fornire una panoramica delle potenzialità ancora inesplorate del progetto, evidenziando al contempo le scelte strategiche effettuate per ottimizzare lo sviluppo del configuratore e degli strumenti a esso associati.

5.1 Tabella commerciale

Come accennato nella sezione 3.5, è stato sviluppato un prototipo volto a raccogliere le principali informazioni necessarie per l'avvio di un progetto, con l'intento di integrarle nel sistema del configuratore. Questo prototipo è stato concepito come una tabella compilabile in modo controllato, dove, attraverso domande specifiche, si potevano ottenere dati mirati con risposte predefinite laddove possibile. In caso di informazioni mancanti, era prevista la possibilità di inserire note, che sarebbero state poi condivise ai tecnici competenti. Prima dell'esportazione del file via email con i responsabili del progetto, veniva effettuato un controllo sul numero di informazioni mancanti o sulle quali erano state inserite note, garantendo così una verifica preliminare delle informazioni fornite.

Il prototipo è stato testato fino alla fase di integrazione con il configuratore, consentendo la ricerca della variante del serbatoio a partire dai dati di pressione e volume estrapolati dalla tabella commerciale. Nella figura 5.1 è illustrata l'interfaccia dello strumento. Le principali funzionalità implementate sono:

- controllo della completezza dei dati inseriti;
- generazione di un report delle note;
- reset dei campi compilabili;
- condivisione del file mediante email predefinita;
- esportazione diretta dei dati nel configuratore.

Lo sviluppo del prototipo è stato sospeso per completare il perfezionamento del configuratore. Inoltre, la decisione è stata rafforzata dall'avvio di un progetto specifico per la divisione commerciale, che avrebbe potuto gestire in modo più efficace gli aspetti legati all'acquisizione dei clienti evidenziati nel prototipo.

L'obiettivo era sviluppare un'intervista dinamica capace di raccogliere tutte le informazioni necessarie per avviare il progetto in modo corretto, assicurandosi di non trascurare dati fondamentali. Le funzionalità non completate riguardano soprattutto i criteri di avanzamento delle domande, al fine di determinare sulla base delle risposte lo strumento più idoneo per portare avanti il progetto.

5.2 Implementazioni del configuratore sviluppabili

Nell'ottica di migliorare ulteriormente il configuratore, alcune implementazioni potenzialmente vantaggiose non sono state sviluppate, principalmente a causa della necessità di dare priorità ai casi più frequenti e di maggiore impatto. Lo scopo del configuratore, infatti, non è risolvere ogni possibile scenario, bensì automatizzare quelli più comuni, ottimizzando così l'efficienza operativa.

Un esempio è la gestione delle tabelle di saldatura delle connessioni. Digitalizzare le logiche di scelta dei sistemi di saldatura più comuni avrebbe rappresentato il passo finale per ottenere uno schema di foratura completo e controllato. Tuttavia, la variabilità delle tipologie di saldatura disponibili ha reso difficile implementare una soluzione standardizzata. Questo ha portato alla decisione di non indicare

Tabella Dati Progetto		
Parametri necessari	Dati	Note
Nome cliente	Fotork	
Codice cliente	12	
Data inizio lavori	08/04/2024	
Capacità [L]	1000	
Pressione di progetto [bar]	16	
Pressione d'esercizio [bar]	10	
Temperatura d'esercizio [°C]	60	
Tmin [°C]	-20	
Tmax [°C]	80	
Codice di progettazione	VSR	
Omologazione/approvazione	CE	
Fluido Contenuto	Aria	
Coefficiente di corrosione	#	
Orientamento serbatoio	Verticale	
Materiale serbatoio	Acciaio al Carbonio	
Specifiche materiale della targhetta	Standard	
Numero di manicotti	Standard	
Ci sono manicotti extra sui fondi?	Si	
Serve spostare qualche quota dei manicotti?	Si	
Numero di flange aggiuntive	2	5 e 3
Tipologia di connessione [NPT, GAS, Metriche]	Standard	
Servono passa mani in più?	Si	
Servono passo d'uomo in più?	Si	
Finitura interna	Si	
Finitura esterna	Si	Bucciato
Calcolo del ciclo a fatica	Si	
Delta P [bar]	50	
Numero di cicli	1000000	
Delta T [°C]	20	
Verifica a vento e eventi sismici?	Si	
Sito di installazione del serbatoio	Italia	
Tipologia di verifica sismica	Calcolo a codice	
Codice di verifica	#	
Serve un kit di sicurezza?	Si	KIT0031
Servono documenti specifici in più?	No	
Sarà un progetto nuovo?	Si	
Famiglia di partenza	#	Non è nota
Sarà una variante nuova?	No	
Modulo G	No	
Variante di partenza	#	
Ci sono giunti di saldatura speciali richiesti?	No	
Info utili in più	#	
Certificazione marina?	No	
Tipologia di verifica marina	Case by case	
Numero di porto	#	
Numero di nave	#	

Comandi Rapidi

Cancella Dati

Controllo Dati

Carica Dati

Figura 5.1: Prototipo di tabella dati commerciale

automaticamente il tipo di saldatura nella tavola VES, lasciando al disegnatore il compito di definirlo.

Un altro aspetto implementabile riguarda la gestione più dettagliata delle gambe

angolare. I semilavorati sono stati codificati per taglie, controllati via software di analisi agli elementi finiti e approvati per specifiche condizioni di carico. I calcoli strutturali, inizialmente sviluppati per progetti in ambito ASME, sono stati poi adattati per contesti PED. Tuttavia, la complessità delle possibili combinazioni ha reso impossibile un fine tuning delle configurazioni del semilavorato attraverso il configuratore, lasciando al disegnatore la responsabilità delle scelte finali, che devono comunque essere verificate dall'ufficio tecnico. Inoltre, le zone di contatto dei PAD con la virola non sono rilevabili dai controlli automatici, richiedendo al disegnatore di controllare eventuali interferenze di montaggio con le connessioni.

Un ulteriore caso limite riguarda il controllo della distanza M tra le flange rinforzate, una situazione rara nel contesto esaminato. Questo tipo di verifica richiederebbe un'analisi che va oltre la semplice gestione analitica della formula, poiché l'accoppiamento tra il tubo e la piastra non è preciso, e la distanza limite può variare in funzione degli spessori delle piastre considerate per motivi di produzione. Piuttosto che implementare un controllo approssimativo per un caso così raro, si è scelto di concentrare gli sforzi sui punti di maggiore impatto, limitando il campo di applicabilità del configuratore.

Infine, nel vecchio configuratore era presente un registro dei progetti completati, che archiviava i dati fondamentali per tracciare uno storico. Tuttavia, nel nuovo configuratore si è scelto di non implementare questa funzione, poiché si stava già lavorando internamente a uno strumento integrato con il sistema aziendale per la gestione di tali dati da parte del reparto commerciale.

La soluzione adottata per il nuovo configuratore prevede il salvataggio temporaneo di una configurazione alla volta, una scelta che è finalizzata a garantire la sicurezza del processo durante la configurazione del serbatoio. Se questa funzionalità venisse ulteriormente sviluppata, consentirebbe la creazione di un registro indicizzato dei progetti, rendendoli facilmente ricaricabili e pronti per l'esportazione nel modello 3D.

5.3 Analisi di fattibilità del configuratore in ambiente ASME

La seguente analisi di fattibilità è stata svolta al termine dello sviluppo del configuratore per la famiglia PEDC010V0. L'obiettivo era valutare tempi e modalità per implementare uno strumento analogo in un contesto normativo diverso, basandosi sull'esperienza acquisita nel progetto precedente.

5.3.1 Scopo

L'obiettivo è creare una tavola tecnica d'assieme derivata da un modello 3D, verificata secondo il codice di calcolo ASME, in modo altrettanto semplice e rapido come avviene con il configuratore PEDC010V0. I codici dei componenti devono essere unificati quanto più possibile e raccolti in librerie interne, per consentire una selezione efficiente durante la progettazione del serbatoio. I componenti non modificabili includono:

1. fondo ellittico 2:1 (ideale) e manicotto sul fondo;
2. gambe angolari;
3. carpenterie;
4. spessore della virola della configurazione.

Considerando una configurazione del serbatoio con volume V , pressione P e spessore t della virola, sarà possibile verificare che:

1. le connessioni sottoposte a una pressione P siano applicabili (controllo spessori UG-45);
2. la disposizione delle connessioni rispetti i limiti dai bordi imposti da UW-14-(d);
3. la disposizione delle connessioni rispetti i limiti tra i centri imposti da UG-36-(c);
4. lo spessore minimo calcolato, sommato al margine di corrosione e considerando l'efficienza di giunto, sia minore dello spessore nominale t (Configurazione conforme alla richiesta);
5. controllo ispezioni(UG-46);
6. la flangia montata abbia necessità di compensazione dell'area (UG-37).

5.3.2 Vantaggi

Il configuratore consentirà di selezionare solo componenti che possono effettivamente superare i controlli, eliminando la necessità di partire da un codice VES esistente per scegliere componenti senza sapere se supereranno le verifiche. Questo approccio permetterà anche di intercettare preventivamente una connessione da rinforzare, senza dover passare per un controllo dell'ufficio tecnico.

Un notevole vantaggio potrebbe essere l'automazione della compilazione del rapporto tecnico di calcolo. Questo si otterrebbe eseguendo i test direttamente in memoria, per poi trasferire automaticamente i risultati nel foglio Excel attualmente in uso per redigere il documento. Tale approccio permetterebbe di sfruttare la velocità della programmazione in VBA, mantenendo allo stesso tempo la formalità e il rigore degli strumenti attualmente adottati in azienda.

5.3.3 Limiti

Le configurazioni di V e P prese in considerazione sono 14:

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. 100 L a 160 psi; | 8. 270 L a 192 psi; |
| 2. 100 L a 145 psi; | 9. 500 L a 160 psi; |
| 3. 150 L a 160 psi; | 10. 500 L a 200 psi; |
| 4. 200 L a 160 psi; | 11. 500 L a 232 psi; |
| 5. 200 L a 145 psi; | 12. 720 L a 160 psi; |
| 6. 270 L a 160 psi; | 13. 1000 L a 160 psi; |
| 7. 270 L a 145 psi; | 14. 3000 L a 160 psi. |

Queste configurazioni rappresentano il 45% dei codici creati nel 2023, escludendo i volumi inferiori ai 100 L. Verranno fissati un materiale, un intervallo di temperatura d'esercizio e le tolleranze dimensionali dei fondi e della virola.

Nel caso in cui la configurazione selezionata non superi i controlli per lo spessore scelto di default, verrà suggerito lo spessore successivo, e sarà necessario decidere come gestire il processo in base alla situazione.

5.3.4 Progettazione dei modelli 3D

I fondi manterranno proporzioni fisse, con variazioni limitate a spessore e diametro, anche se questa soluzione non rifletterà esattamente la realtà del componente, rendendolo un modello ideale. Le virole, invece, saranno discretizzate in base alle opzioni della gamma di prodotti, fissando un raggio esterno, uno spessore e un volume. Queste configurazioni saranno in grado di coprire diverse pressioni per la stessa taglia di serbatoio.

Si potrà verificare se i manicotti standard più usati possono coprire tutte le configurazioni, effettuando un controllo e includendo solo i manicotti idonei alle pressioni d'esercizio in funzione dello spessore e dell'efficienza di giunto.

Per le connessioni flangiate, sarà necessario creare una libreria di tubi e flange utilizzabili nelle condizioni di pressione, spessore ed efficienza di giunto previste. Sarà inoltre importante selezionare un materiale con caratteristiche minime per permettere un confronto adeguato.

Gli occhielli di sollevamento saranno selezionati tra quelli già riportati nei disegni di riferimento, mentre per le gambe si opterà per il modello angolare, rispettando i limiti delle distanze critiche imposte dal programma di calcolo.

5.3.5 Implementazioni in VBA

Uno spessore t e un raggio di viola interno R , a parità di materiale ed efficienza di giunto E , possono sopportare diverse pressioni. Sarà quindi possibile effettuare un test e verificare se una configurazione R e t può essere valida per diverse P . Se la configurazione desiderata non è disponibile, si potranno inserire i dati in un form per tracciare uno storico utile a un futuro aggiornamento.

Per migliorare il ventaglio di prodotti supportati dal configuratore, si può testare l'efficienza di giunto minima che consente di superare i controlli sul fasciame.

5.3.6 Considerazioni finali

Come già emerso durante lo sviluppo del configuratore per la famiglia PEDC010V0, diversi aspetti possono risultare complessi da prevedere in una fase preliminare. L'analisi qui proposta ha lo scopo di tracciare una linea guida per raggiungere un risultato altrettanto efficace. Pur considerando la possibilità di incontrare casi particolari e difficoltà impreviste, questi potranno essere affrontati in fasi successive con un maggiore livello di dettaglio. Le basi per sviluppare uno strumento di questo tipo sono solide e la necessità è stata ampiamente dimostrata nel capitolo 3.2.3. La realizzazione concreta potrà essere il focus di futuri progetti di ottimizzazione dei processi aziendali, con l'obiettivo di capitalizzare l'esperienza maturata e raggiungere nuovi traguardi.

Capitolo 6

Conclusioni

Il percorso di progettazione discusso nel presente elaborato ha portato alla realizzazione di uno strumento in linea con le esigenze aziendali del gruppo Baglioni. Grazie al supporto e alla collaborazione interdisciplinare dimostrata dai colleghi, è stato possibile sviluppare un configuratore efficacemente integrato in un sistema consolidato nel corso degli anni.

L'ingresso nel complesso quadro normativo, guidato dall'esperienza dei professionisti coinvolti, ha rappresentato una delle sfide principali. La continua interazione con il team ha facilitato una corretta interpretazione delle norme, elemento cruciale per garantire la conformità del configuratore alla Direttiva europea. Questo approccio ha consentito di tradurre in pratica gli obiettivi progettuali con precisione, gettando le basi per uno strumento conforme a quanto richiesto.

Uno degli aspetti più rilevanti emersi durante il processo è stato l'apertura del personale aziendale al cambiamento e all'innovazione. Dalle prime interviste, è emersa una forte volontà di migliorare i sistemi esistenti per liberare tempo e risorse, focalizzandosi su attività a maggior valore aggiunto. Il mio compito iniziale è stato quello di canalizzare queste esigenze, trasformandole in requisiti concreti per lo sviluppo del configuratore.

Il lavoro svolto nelle fasi di raccolta dati è stato essenziale per la successiva fase di sviluppo, permettendo di incrociare competenze multidisciplinari e di affrontare il progetto in modo strutturato. Un elemento fondamentale del successo del configuratore è stato mantenere un approccio pragmatico e incrementale. Il precedente strumento, sebbene avesse alcune limitazioni, era concreto e affidabile. Questi principi sono stati la guida anche per lo sviluppo del nuovo configuratore, evitando derive superficiali e

concentrandosi su miglioramenti graduali e impattanti.

L'implementazione di ulteriori funzionalità, sia lato software che lato modellazione, è stato permesso dall'approccio integrale al progetto. Avendo il controllo delle diverse parti che costituiscono il configuratore è stato possibile affrontare i problemi di sviluppo da più punti di vista ottenendo il risultato cercato mediante strade alternative. L'obiettivo finale è stato raggiunto: migliorare l'efficienza del processo senza sacrificare la qualità, con uno strumento che velocizzi il processo di realizzazione delle tavole tecniche controllandone la conformità ai requisiti tecnici.

Il configuratore, pur essendo già utilizzato quotidianamente in azienda, rappresenta solo un primo passo verso il pieno sfruttamento del suo potenziale. Concluso il periodo di collaudo, sarà fondamentale rafforzare e ottimizzare lo strumento per rispondere in maniera ancora più efficace alle esigenze aziendali. Attualmente, il sistema è stato sviluppato entro limiti ben definiti; tuttavia, per raggiungere gli obiettivi a lungo termine sarà necessario un ulteriore intervento da parte di professionisti del settore. È stato discusso, infatti, come estendere il configuratore per integrare altre famiglie di prodotti, trasformandolo in uno strumento capace di gestire una gamma più ampia di serbatoi e di rispondere a esigenze future in maniera flessibile.

In questa prospettiva, il prossimo passo consisterà in una ristrutturazione del software che preveda, da un lato, la creazione di un database più sicuro e scalabile e, dall'altro, una ridefinizione dell'architettura del programma per facilitare l'integrazione di nuove famiglie di prodotti sotto un unico sistema. Questa evoluzione richiederà un approccio più ampio e sistematico, con un'attenzione specifica all'ottimizzazione dei modelli 3D per SolidWorks, per garantire che il configuratore continui a soddisfare le necessità tecniche e operative delle diverse linee di produzione.

Un aspetto cruciale per il futuro sarà rimanere focalizzati sulle reali esigenze degli utenti finali. Se il configuratore rappresenta oggi la soluzione adottata, sarà fondamentale monitorarne l'efficacia nel tempo, valutando periodicamente se continuare a investire su questo strumento o se sia necessario esplorare altre soluzioni.

In conclusione, il lavoro realizzato ha rappresentato un ulteriore avanzamento per il gruppo Baglioni, sia in termini di ottimizzazione dei processi interni che di miglioramento dell'efficienza operativa. Il configuratore sviluppato è parte integrante di un percorso più ampio di miglioramento continuo, destinato a consolidare progressivamente il vantaggio competitivo dell'azienda nel settore.

Appendice A

Guida all'uso e manutenzione del configuratore



MANUALE CONFIGURATORE - FAMIGLIA PEDC010V0

LV-616-25 – Rev. 00

10/09/2024

Page 1 of 18

DATE / Data	ISSUED / Emesso	JOB TITLE / Mansione
10/09/2024	Gabriele Introini	Quality Assurance Manager (QAM)
INDICE DELLE REVISIONI		
DATE / Data	DESCRIPTION / Descrizione	
10/09/2024	Prima emissione	

INDICE / Index

1	SCOPO	3
2	RESPONSABILITÀ.....	3
3	ABBREVIAZIONI	3
4	KEY-USER	3
4.1.	Ricerca variante - Foglio “RICHIESTA”	3
4.2.	Modifica configurazione standard - Foglio “PEDC010 VERT”	5
4.3.	Realizzazione Modello e tavola	9
5	PROCESS OWNER	11
5.1.	Revisione file parti	11
5.2.	Aggiunta di elementi al database	12
6	ARCHIVIAZIONE.....	14
7	ESEMPIO PRATICO	15
7.1.	Ricerca modello di riferimento.....	15
7.2.	Modifica e controllo del serbatoio	15
7.3.	Creazione Modello 3D	16
8	ALLEGATO A	17
9	ALLEGATO B	18

1 SCOPO

Il Configuratore per la famiglia PEDC010V0 è stato sviluppato con l'obiettivo di velocizzare il processo di realizzazione di un disegno RDO e/o VES riducendone i tempi di verifica della conformità ai requisiti della famiglia. Questo strumento è concepito per facilitare il completamento degli ordini basati su un recipiente a pressione standard a catalogo, integrato con le personalizzazioni richieste dal cliente. Il principale vantaggio risiede nelle verifiche automatizzate, che consentono di garantire la fattibilità tecnica di un progetto prima della realizzazione del disegno RDO.

2 RESPONSABILITÀ

L'UT è incaricato di svolgere le seguenti attività:

- compilazione del Configuratore;
- controllo qualitativo del Modello;
- compilazione della tavola finale;
- archiviazione del progetto.

Il/la RUT è incaricato di gestire i processi di:

- manutenzione del Configuratore;
- aggiornamento del Modello.

3 ABBREVIAZIONI

- UT: ufficio tecnico;
- RUT: responsabile ufficio tecnico;
- SW: SolidWorks®;
- RDO: richiesta d'offerta;
- Famiglia: famiglia PEDC010V0;
- UI: user interface/interfaccia grafica;
- Server UT: \\spm-dfs-01\dati\UT
- Modello: modello 3D configurato, file d'insieme SW "PED C010V0.R00" presente nel Server UT\Configuratore;
- Configuratore: file Excel "Configuratore_PEDC010", presente nel Server UT\Configuratore;
- Codice VEC: codice identificativo del serbatoio nella configurazione standard;
- Configurazione standard: configurazione standard del serbatoio a catalogo.

4 KEY-USER

In questo capitolo verranno illustrate le procedure per utilizzare al meglio il Configuratore, in modo da consentire, passo dopo passo, la realizzazione di un disegno verificato conforme alla relativa famiglia.

4.1. RICERCA VARIANTE - FOGLIO "RICHIESTA"

Una volta aperto il Configuratore, il processo inizia dal foglio "RICHIESTA", attraverso il quale è possibile ricercare le varianti dei serbatoi in famiglia. I prodotti presenti nel database rappresentano le varianti più comuni della famiglia, ma non tutte le possibili varianti. È possibile seguire due modalità operative descritte di seguito, la modalità 1 è preferibile per la sua praticità. Indipendentemente dal metodo scelto, il risultato finale deve essere la compilazione automatica della "Tabella riassunto parametri serbatoio" (Figura 4) con i dati relativi alla configurazione standard cercata.

1 – Compilazione mediante UI

1. Attivare la UI mediante un click sul pulsante 2 in Figura 1;
2. Si aprirà l'immagine riportata in Figura 2;
3. Se si conosce il codice VEC:
 - Si può inserire direttamente il codice VEC digitando nell'apposito spazio (punto 1 Figura 2), oppure mediante il menù a tendina, scorrendo nella lista dei codici presenti, cliccando il codice desiderato;
 - Mediante il pulsante 2 (Figura 2) si procede a cercare la configurazione standard;
4. Se non si conosce il codice VEC:
 - Schiacciando il pulsante 4 in Figura 2 si aprirà il pop-up di ricerca mediante parametri (Figura 3);

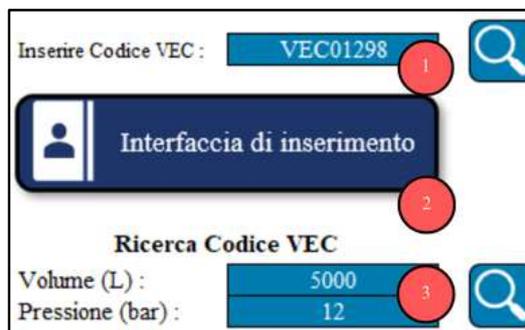


Figura 1: Foglio "RICHIESTA"

- Si potrà compilare o scegliere dall'elenco proposto diverse combinazioni di pressione e volume;
 - Premendo il pulsante 3, verrà avviata la procedura di ricerca. In caso di esito positivo, il sistema individuerà automaticamente il codice VEC associato alla combinazione di parametri;
5. Si verrà avvisati che il codice è stato inserito correttamente, seguire le istruzioni riportate nei pop-up;
 6. Il processo termina con la scrittura automatica della configurazione standard di riferimento e verrà aperto il foglio "PEDC010 VERT".

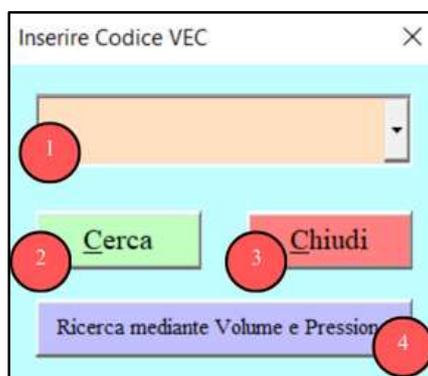


Figura 2: Interfaccia ricerca codice VEC

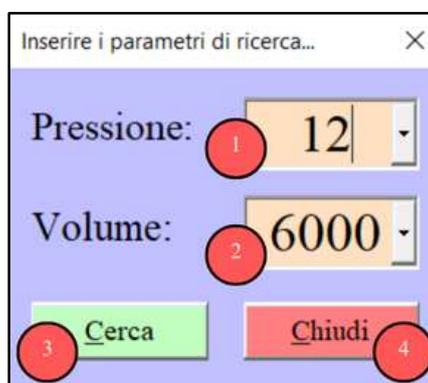
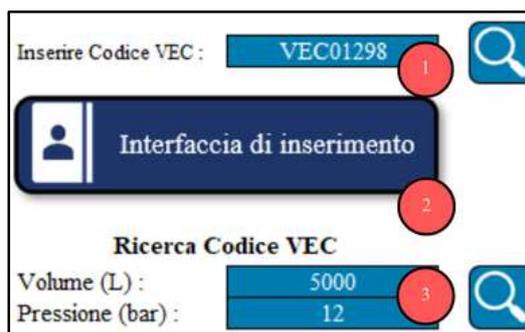


Figura 3: Interfaccia ricerca per parametri

2 – Compilazione manuale

1. Inserire il codice VEC nella cella in posizione 1 Figura 1 (si riporta a destra la figura per facilitare l'esposizione), schiacciando il tasto invio si potrà ricercare in automatico il modello di serbatoio standard da modificare.
2. Se non si conosce il codice VEC, si può inserire volume e pressione della configurazione standard ricercata nelle celle in posizione 3 e premere il pulsante con l'icona della lente d'ingrandimento per confermare la scelta.
3. Si verrà avvisati che il codice è stato inserito correttamente, seguire le istruzioni riportate nei pop-up;
4. Il processo termina con la scrittura automatica della configurazione standard di riferimento e verrà aperto il foglio "PEDC010 VERT".



4.1.1. Gestione dei problemi ricerca variante

Può verificarsi che la procedura descritta nel capitolo 4.1 incontri delle difficoltà. In tali situazioni, si consiglia di seguire le istruzioni fornite nei pop-up. Tuttavia, nei casi più gravi, la soluzione più rapida ed efficace consiste nel chiudere il file del Configuratore senza salvare, riaprirlo e ricominciare la procedura dall'inizio.

In caso si stia ricominciando la procedura dopo un'interruzione dovuta a un errore del processo, il sistema potrebbe non rilevare automaticamente il codice VEC inserito. In quel caso si può usare il tasto con l'icona della lente d'ingrandimento per forzare la ricerca.

4.2. MODIFICA CONFIGURAZIONE STANDARD - FOGLIO "PEDC010 VERT"

Nel foglio "PEDC010 VERT" è possibile apportare le modifiche alla configurazione standard richieste dal cliente. Tramite il Configuratore, si potrà verificare che tali modifiche rispettino le prescrizioni della famiglia, prima della realizzazione del disegno. Le connessioni modificabili sono esclusivamente quelle presenti sul fasciame. Per configurare il prodotto sono disponibili due metodi; si consiglia di seguire quanto descritto nel capitolo 4.2.1.

The screenshot displays the configuration interface for the PEDC010 VERT tank. It includes several key components:

- Interfaccia di modifica (1):** A sidebar with buttons for manual modifications, including 'Controllo modifiche', 'Modifica modello 3D', and 'Schema serbatoio'.
- Tabella riassunto parametri serbatoio (6):** A table listing connection parameters.
- Tabella riassunto progetto (7):** A table with project details like 'Gamba', 'Luce Inf.', and 'Sald. Longit.'.
- Stato controlli (9):** A table for control status, including 'Tabella', 'Ispesioni Minime', 'Distanze N', and 'Distanze M'.
- Tabella distanze M (5):** A large table showing distance values for various connection points (1a to P2).

N.CONNESSIONI	STATO	CONNESSIONE	SPORGENZA [mm]	ORIENTAMENTO	ALTEZZA [mm]
1a	R	G 2"	18	n.a.	3384
2	R	G 3"	30	90	800
3	R	G 3"	30	270	800
4	R	G 3/8"	16	0	2445
5	R	G 3/4"	18	0	2745
6	R	G 3"	30	90	2745
7	R	G 3"	30	270	2745
8	S	#	0	90	#
9	S	#	0	270	#
10	S	#	0	90	#
11	S	#	0	270	#
P1	S	#	0	#	#
P2	S	#	0	#	#

Gamba	Standard
Luce Inf. [mm]	232
Sald. Longit. [°]	249
Diametro [mm]	1450
Variante	50V012
Cliente	
RDO	

Tabella	
Ispesioni Minime	
Distanze N	
Distanze M	

N.CONNESSIONI	1a	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	P1	P2
1a													
2													
3													
4		2278											
5		2001	2001										
6		2254	2254	300									
7		1945	2995	1178	1139								
8		2995	1945	1178	1139	2278							
9													
10													
11													
P1													
P2													

Figura 4: Foglio "PEDC010 VERT"

4.2.1. Compilazione mediante UI

1. Compilare la tabella in posizione 8 (Figura 4) con il nome del cliente e il numero del codice RDO;
2. Cliccare il pulsante in posizione 1 (Figura 4) per iniziare le modifiche;

3. Si aprirà la UI in Figura 5 a cui si farà riferimento d'ora in poi;

N.CONNESSIONI	STATO	CONNESSIONE	SPORGENZA [mm]	ORIENTAMENTO	ALTEZZA [mm]
1a	R	G 2"	18	n.a.	3384
2	R	G 3"	30	90	800
3	R	G 3"	30	270	800
4	R	G 3/8"	16	0	2445
5	R	G 3/4"	18	0	2745
6	R	G 3"	30	90	2745
7	R	G 3"	30	270	2745
8	S	#	0	90	#
9	S	#	0	270	#
10	S	#	0	90	#
11	S	#	0	270	#
P1	S	#	0	0	#
P2	S	#	0	0	#

Figura 5: Interfaccia di modifica serbatoio

4.2.1.1. Modifica delle connessioni

4. Per selezionare una connessione da modificare cliccare una riga della tabella in posizione 2;

La seguente leggenda chiarisce il significato e l'uso delle diverse voci presenti nella tabella:

- N. CONNESSIONI: numerazione della connessione secondo lo schema di riferimento riportato in posizione 1;
- STATO: determina se una connessione è montata sul serbatoio. Le connessioni attive riporteranno la dicitura "R", mentre quelle non utilizzate in una configurazione saranno contrassegnate con la lettera "S";
- CONNESSIONE: questa voce specifica il tipo di connessione. È possibile selezionare tra tre tipologie:
 - Manicotto;
 - Connessione flangiata;
 - Ispezione passo d'uomo o passa mano.
- SPORGENZA: distanza tra la faccia esterna della connessione e il mantello;
- ORIENTAMENTO: coordinata angolare riferita allo schema in posizione 16;
- ALTEZZA: quota dal piano del suolo al centro della connessione.
 - La principale differenza tra le connessioni basse (2, 8, 3, 9 e P1) e quelle alte (4, 5, 6, 7, 10, 11 e P2) sta nel fatto che la quota d'accoppiamento in SW si riferisce alla distanza tra la mezzeria del serbatoio e il centro della connessione. Per questo motivo le quote delle altezze delle connessioni basse dello schema non possono superare la mezzeria;
 - Dunque, se nello schema di riferimento una connessione è posizionata nella metà superiore (Es.: Connessione 6), anche se l'altezza che imputiamo sarà minore della mezzeria, nel Modello la connessione risulterà nella metà superiore. Ciò è dovuto all'accoppiamento imposto nel Modello, che presuppone una quota della connessione maggiore della mezzeria.
 - Per agevolare la disposizione delle connessioni sono state riportate delle quote di riferimento in posizione 9 della Figura 5.

5. Premere il pulsante 3 per modificare i parametri della connessione della riga identificata;

6. Apparirà la UI presente in Figura 6, a cui si farà riferimento, dove sono presenti tutti i parametri caratterizzanti la connessione;



Figura 6: Interfaccia modifica connessioni

7. La check-box "Stato" indica che la connessione è attiva, altrimenti se fosse vuota si può attivare cliccando;
8. Alla posizione 3 si può modificare l'altezza;
- Se l'altezza è nota come somma di quote parziali si può inserire una formula con la stessa codifica delle celle Excel (Es.: =100+200 darà come risultato 300).
9. Dal menù a tendina si potranno scegliere sia connessioni flangiate che manicotti, solo nel caso delle connessioni P1 e P2 si potranno selezionare le ispezioni;
- N.B.: Se una connessione non dovesse essere presente nel database, si consiglia di verificare manualmente se è possibile utilizzarla nella variante scelta, in caso affermativo inserire temporaneamente la prima connessione disponibile più grande e continuare il processo. Si potrà sostituire la connessione in fase di modifica del Modello direttamente su SW, segnalando al/alla RUT il problema;
 - PD1 e PD2 rappresentano i passa mano ad asse maggiore parallelo e perpendicolare al terreno, mentre PM1 e PM2 le ispezioni passo d'uomo ad asse maggiore parallelo e perpendicolare al terreno.
10. L'orientamento è modificabile al punto 5 inserendo un numero da 0 a 359;
11. Una volta compilati tutti i campi, per confermare la modifica, cliccare il pulsante "Aggiorna" in posizione 6;
12. Altrimenti per uscire senza salvare le modifiche premere il pulsante "Chiudi" in posizione 7;

4.2.1.2. Modifica carpenterie

13. Oltre alle modifiche dei parametri delle connessioni, è possibile cambiare alcuni parametri delle carpenterie del serbatoio dalla UI in Figura 5:
- Tipologia di gamba: dal menù a tendina in posizione 7, si può selezionare la gamba angolare (del tipo utilizzo serbatoi ASME);
 - N.B.: Si verrà avvisati da un pop-up che i pad devono rientrare entro dei limiti precisi della distanza D in Figura 7, il controllo sarà manuale nel Modello e le eventuali modifiche saranno da apportare al sottoassieme "GAMBA ASME".
 - Luce inferiore: in posizione 14 si potrà modificare l'altezza tra il piano di terra e la faccia inferiore del manicotto 1, ma solo se è stata selezionata la gamba angolare;

- Attenzione al bocchello 1: Affinché la modifica della luce inferiore sia interpretata correttamente dal Configuratore, il bocchello 1 deve essere considerato sporgente dal fondo per una quota pari a: Altezza totale manicotto - Spessore fondo (Es.: 25-5=20). Tenendo conto di tale ingombro, è possibile calcolare la luce inferiore.

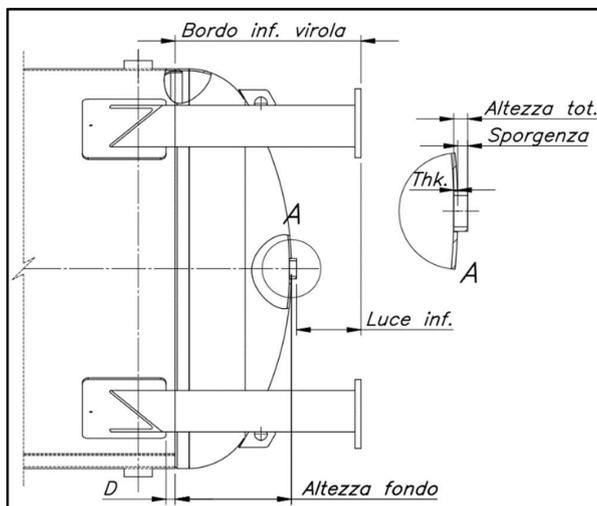


Figura 7: Schema posizionamento gamba

- Impostando la luce inferiore pari a zero, è possibile verificare anche i serbatoi orizzontali. Il Configuratore non è pensato per gestire tali progetti, ma può essere usato come un valido strumento a supporto dell'UT.
- Orientamento saldatura longitudinale: Il valore riportato al punto 15 corrisponde al valore standard in gradi rispetto allo schema in figura 1, come per l'orientamento delle connessioni si può inserire un valore da 0 a 359.

4.2.1.3. Controllo del serbatoio

14. Una volta completate tutte le modifiche si può controllare il serbatoio mediante il pulsante 4;

I controlli eseguiti dal Configuratore sono i seguenti:

- Come prima verifica ci si accerterà che tutti i campi delle connessioni attive siano compilati;
 - In seguito, si verificherà che il serbatoio rispetti i requisiti del numero minimo di ispezioni, secondo le indicazioni in famiglia;
 - N.B.: prima di aggiungere connessioni come ispezioni, controllare se il serbatoio possa già superare tale controllo.
 - Prosegue poi con il controllo delle distanze N e M;
 - In particolare, la tabella 5 in Figura 4 riporta le coppie di connessioni controllate. Dunque, se una coppia non rispetta la distanza minima M, sarà evidenziata in rosso e verrà segnalata la distanza da aggiungere.
15. Se tutti i controlli sono stati superati con esito positivo, tutte le caselle di controllo nella posizione 10 della Figura 5 saranno selezionate;

4.2.1.4. Caricamento e gestione del Modello

16. Si può salvare una configurazione alla volta mediante il pulsante in posizione 11 e successivamente ricaricarla tramite il pulsante in posizione 12;
17. Se si volesse ricominciare a modificare dalla configurazione standard premere il pulsante 5;
18. Infine, se tutti i controlli sono stati superati è possibile aggiornare il Modello con la configurazione creata con il pulsante 6;
 - Oltre ad aggiornare il Modello verrà aggiornato anche il modello dello schema di foratura posizionando correttamente i fori nel piano della piastra;
 - Le dimensioni dei fori riportate sul modello sono il diametro minimo richiesto, dunque è necessario aggiornare in seguito il disegno con le dimensioni standard utilizzate.
19. Cliccando sul pulsante 13 oppure la croce in alto, si chiuderà l'interfaccia.

4.2.2. Compilazione manuale

Si riporta la Figura 4 a cui si farà riferimento d'ora in avanti.

1 Interfaccia di modifica

2 Pulsanti modifiche manuali

3 Modifica modello 3D

4 Schema serbatoio

5 Tabella distanze M

6 Tabella riassunto parametri serbatoio

N.CONNESSIONI	STATO	CONNESSIONE	SPORGENZA [mm]	ORIENTAMENTO	ALTEZZA [mm]
1a	R	G 2"	18	n.a.	3384
2	R	G 3"	30	90	800
3	R	G 3"	30	270	800
4	R	G 3/8"	16	0	2445
5	R	G 3/4"	18	0	2745
6	R	G 3"	30	90	2745
7	R	G 3"	30	270	2745
8	S	#	0	90	#
9	S	#	0	270	#
10	S	#	0	90	#
11	S	#	0	270	#
P1	S	#	0	#	#
P2	S	#	0	#	#

7 Tabella riassunto progetto

Gamba	Standard
Luce Inf. [mm]	232
Sald. Longit. [°]	249

8

Diametro [mm]	1450
Variante	50V012
Cliccate	
RDO	

9 Stato controlli

Tabella	
Ispersioni Mmme	
Distanze N	
Distanze M	

- I parametri modificabili sono i medesi della spiegazione al capitolo 4.2.1.1;
- Modificando le celle della tabella 6 è possibile configurare il serbatoio modificando i parametri caratterizzanti la connessione;
 - N.B.: La sporgenza è calcolata in automatico, ma volendo è possibile modificare il valore per esigenze particolari.
- Per agevolare la compilazione, grazie al tasto 4, è possibile visualizzare lo schema di riferimento della numerazione delle connessioni del serbatoio;
 - N.B.: Il pop-up è trascinabile e non impedisce la compilazione del foglio mentre è aperto.
- Per modificare la tipologia di gamba è presente un menù a tendina in posizione 7;
 - Come spiegato al capitolo 4.2.1.2, la luce inferiore è da modificare solo nel caso di gamba angolare, con le dovute accortezze già menzionate.
- L'orientamento della saldatura longitudinale si può modificare mediante la cella in posizione 7 inserendo un numero da 0 a 359;
- Modificando le voci "RDO" e "Cliente" si compileranno le rispettive informazioni nel cartiglio della tavola;
- Completate tutte le modifiche si può controllare il serbatoio mediante il pulsante 2;
- Superati i controlli tutte e 4 le caselle in posizione 9 diventeranno verdi e allora si potrà esportare la configurazione in SW grazie al pulsante 3.

4.2.3. Gestione dei problemi modifica configurazione standard

Nel caso avvenga un errore durante l'uso della UI si consiglia di salvare la configurazione modificata mediante il tasto 11 Figura 5. Se il tipo di errore lo permette, utilizzare il tasto 5 di reset in Figura 5 e successivamente ricaricare la configurazione mediante il tasto 12.

Se l'errore è più grave del previsto, si consiglia di chiudere il file e ricominciare da capo la procedura. In caso di problemi con il Modello riferirsi al capitolo 4.3.1.

4.3. REALIZZAZIONE MODELLO E TAVOLA

In questo capitolo verrà illustrata la sequenza di operazioni da eseguire, una volta generato il Modello, per creare un disegno RDO. Verranno inoltre spiegate le differenze rispetto a un disegno VES.

- Si apra il Modello nella cartella del Configuratore;
- Una volta dato il consenso all'aggiornamento mediante tabella dati, si potrà visualizzare il Modello del serbatoio personalizzato selezionando la variante corretta nel menù varianti;
- Se il Modello non dovesse risultare conforme alle aspettative è necessario:
 - chiudere il Modello;
 - tornare al Configuratore ed apportare le modifiche seguendo la metodologia descritta nel capitolo 4.2. Questo garantirà il corretto svolgimento dei controlli e, di conseguenza, la conformità del serbatoio alla famiglia.
 - Le modifiche che non influenzano i controlli sono ad esempio: la sporgenza delle flange, l'altezza della targa, il posizionamento dei pad delle gambe del tipo utilizzo serbatoi ASME e la posizione degli occhielli di sollevamento.

4. Se il Modello è conforme alla richiesta si può aprire il file della tavola di SW "PED C010V0.R00". Anche in questo caso è richiesto l'aggiornamento mediante tabella dati e bisogna selezionare la tavola corrispondente alla variante modificata;
 - o Si consiglia di aprire prima il file "Schema di foratura" in modo da alleggerire il carico di lavoro del computer;
 - o Viceversa, nella fase di chiusura di SW, si consiglia di chiudere prima la tavola e successivamente i file 3D di SW.
5. Nella tavola saranno presenti due viste del serbatoio, la tavola dei materiali e due annotazioni. Affianco alla tavola, nella zona non stampabile ci saranno le viste predisposte per il disegno VES, come la targa e lo schema di foratura aggiornato;
 - o La tavola RDO deve contenere le annotazioni presenti in Figura 8;

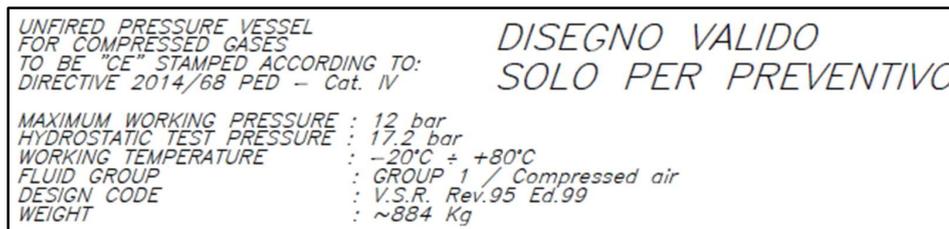


Figura 8: Annotazione per tavola RDO

- o La tabella dei materiali deve presentare solamente le colonne "Pos.", "Description", "Q.ty" e "Dwg.";
- o Un disegno VES dovrà contenere le annotazioni presenti in Figura 9, lo schema di foratura aggiornato e la tabella dei materiali completa.

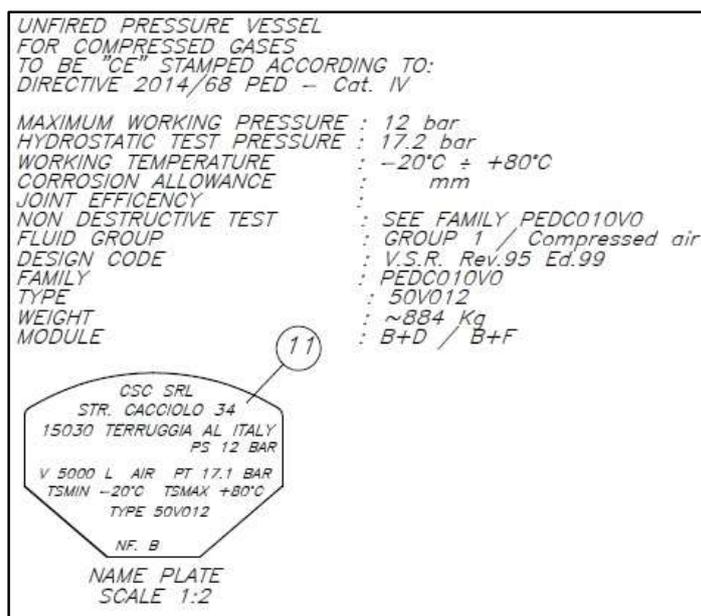


Figura 9: Annotazioni per tavola VES

6. Una volta compilata la tavola si potrà passare al processo di archiviazione descritto nel capitolo 6.

4.3.1. Gestione dei problemi realizzazione Modello e tavola

A causa di un malfunzionamento di SW, è possibile che la tabella dati si corrompa e non possa più essere modificata. Come buona prassi, si consiglia di conservare una copia della tabella dati nella cartella "File Excel per SW". In caso di errore, è possibile eliminare il file corrotto e rinominare il file "PED C010V0.R00 - Copia" in "PED C010V0.R00". Questa procedura può essere eseguita anche per il file "Schema di foratura".

Se la tabella dati presente nel Modello dovesse essere corrotta a causa di un malfunzionamento del software, è possibile eliminarla e ricollegarla a una copia funzionante del file Excel "PED C010V0.R00".

Se SW non dovesse riuscire ad aprire il Modello, provare a caricare le impostazioni seguendo la procedura descritta sotto:

1. Aprire SW e aprire il menu a tendina presente in alto come mostrato in Figura 10.
2. Selezionare "Salva/Ripristina impostazioni...".
3. Selezionare "Ripristina impostazioni" e cliccare su avanti per conferma.
4. Nella cartella del Configuratore sul Server UT sono presenti le impostazioni da selezionare mediante il menù "Sfogliare" (Figura 11); cliccare su avanti per conferma.
5. Spuntare la casella del backup per salvare una copia delle proprie impostazioni e confermare con il tasto Fine.
6. Aprire il Modello.

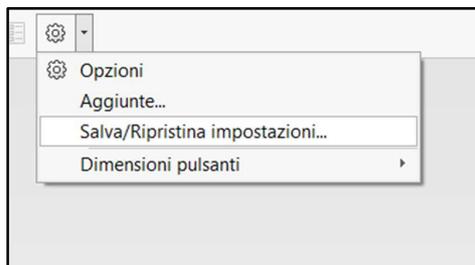


Figura 10: Menu a tendina



Figura 11: Ricerca impostazioni

5 PROCESS OWNER

In questo capitolo si espongono le procedure che il process owner dovrà gestire per mantenere il Configuratore e il Modello aggiornato.

5.1. REVISIONE FILE PARTI

L'obiettivo di questo capitolo è formalizzare le linee guida per la revisione dei file utilizzati nel Modello.

5.1.1. Classificazione dei modelli

Il Modello si basa su due tipologie di parti di SW:

- Parti configurate: in un unico file, grazie alle configurazioni, sono presenti più codici dello stesso gruppo di componenti;
- Parti standard: ogni file rappresenta una sola variante del componente.

I file che costituiscono il Modello sono presenti nella cartella del Configuratore presente nel server UT e non sono collegati ai file 3D presenti nel sistema. Pertanto, quando un componente viene revisionato, è necessario aggiornare manualmente anche il file presente nella cartella del Configuratore. Per agevolare il controllo delle revisioni delle parti, tutti i codici utilizzati nel Modello sono stati riassunti in due documenti Excel:

- Componenti standard: si trova all'interno della cartella "Parti varie standard" e riassume tutti i componenti non configurati;
- Componenti configurati: si trova all'interno della cartella "Parti configurate" e riassume tutti i componenti configurati.

5.1.2. Aggiornamento parti standard

Per aggiornare un componente standard, è possibile sostituire il file nella cartella "Parti varie standard". Al primo avvio del Modello, verrà chiesto di ricollegare il componente sostituito: sarà necessario indicare il nuovo file revisionato come percorso. Se il pezzo in questione è presente nella tabella dati del Modello, è necessario aggiornare il nome del file nella cella corrispondente; diversamente, il Modello non funzionerà correttamente.

5.1.3. Aggiornamento parti configurate

Per revisionare un componente configurato, è necessario aggiornare manualmente la configurazione. In questo caso, bisognerà indicare la revisione attuale tra le proprietà della variante. Non è necessario cambiare il nome della configurazione, pertanto la tabella dati del Modello non dovrebbe subire modifiche come nel caso precedente.

5.1.4. Aggiornamento archivio

Completate le modifiche alle parti è necessario aggiornare i dati presenti nei file Excel riassuntivi dei codici utilizzati nel Modello.

5.2. AGGIUNTA DI ELEMENTI AL DATABASE

L'obiettivo di questo capitolo è formalizzare le procedure per integrare correttamente nuovi elementi all'interno del database del Configuratore e renderli utilizzabili nel Modello.

5.2.1. Aggiunta di un manicotto

Il database di manicotti è aggiornabile dal foglio nascosto "LIMITI" presente nel Configuratore. I dati che servono per la procedura sono:

- Codice interno SOK del manicotto;
- Sporgenza di montaggio come definita al capitolo 4.2.1.1;
- Ambito di utilizzo: in quali categorie di serbatoi è utilizzato tale codice.

5.2.1.1. Modifiche al Configuratore

Nel foglio "LIMITI" sono riportati tre diversi elenchi di manicotti che legano la denominazione al codice interno SOK in base all'ambito di utilizzo:

- BocDict: è l'elenco dei codici SOK utilizzati dai serbatoi verticali verniciati;
- BocDictOP: è l'elenco dei codici SOK utilizzati dai serbatoi verticali oversize verniciati a 12 bar;
- BocDictOPHP: è l'elenco dei codici SOK utilizzati dai serbatoi verticali oversize verniciati a 16 bar.

Questa categorizzazione dei serbatoi in famiglia serve a rendere univoco il collegamento tra denominazione del manicotto e codice SOK. Il processo da seguire per aggiungere un nuovo manicotto è il seguente:

1. Chiarito in quale tabella andrà inserito il nuovo manicotto, bisognerà inserire in fondo alla tabella la denominazione in pollici e nella cella adiacente il codice SOK;
 - N.B.: l'elenco deve essere ben isolato dalle tabelle circostanti per almeno una riga e/o una colonna.
2. Per assegnare la sporgenza è necessario aggiornare la tabella "SporgenzeDict" allo stesso modo;
3. Nella tabella "TIPOLOGIA BOCCELLO" sarà da aggiungere la denominazione del manicotto in modo da renderlo selezionabile dai menù a tendina;
4. A questo punto si può fare un test di processo fino all'aggiornamento della tabella dati, se il file della tabella dati è compilato correttamente allora si potrà passare al capitolo successivo.

N.B.: Se si dovesse cambiare l'indirizzo di qualche tabella del foglio "LIMITI" il Configuratore potrebbe andare in errore. Per evitare problemi è meglio non spostare le tabelle. I dati da integrare devono essere aggiunti in fondo, mantenendo le tabelle isolate. In caso contrario, sarà necessario ricollegarle nell'ambiente di sviluppo, aggiornando il puntatore in ogni parte del programma in cui vengono riferite.

5.2.1.2. Modifiche modelli SW

5. Modificare la parte configurata "MANICOTTO PED C010V0", aggiungendo una configurazione denominata con il nuovo codice SOK del componente e modificandone i parametri costruttivi;
6. Aggiungere una configurazione nel sottoinsieme "BOCCELLO PED C010V0", anch'essa denominata con il nuovo codice SOK;
 - In questa configurazione rimarrà attiva solamente la parte "MANICOTTO PED C010V0" nella configurazione corretta.
7. Una volta completati i test necessari, il processo può essere considerato concluso.

5.2.2. Aggiunta di una connessione flangiata

Il database delle connessioni flangiate è aggiornabile dal foglio nascosto "LIMITI" presente nel Configuratore. I dati che servono per la procedura sono:

- Codice interno della flangia e del tubo su cui è montata;
- Sporgenza di montaggio come definita al capitolo 4.2.1.1;
- Varianti in cui è utilizzabile in accordo con la famiglia.

5.2.2.1. Modifiche al Configuratore

Nel foglio "LIMITI" sono riportati tre tabelle che legano la denominazione della flangia alla configurazione in base alla variante scelta:

- FlaDict: lega la denominazione della flangia alle possibili configurazioni di tubo più flangia;

- VarSpoDict: interpola la variante del serbatoio e la configurazione della connessione flangiata per ottenere la sporgenza;
- FlaPlaDict: interpola nello stesso modo di VarSpoDict, ma per ottenere le dimensioni della piastra di rinforzo.

Il processo da seguire per aggiungere una nuova connessione flangiata è il seguente:

1. Se la dimensione della flangia da aggiungere non è presente nella tabella "FlaDict":
 - Sarà da integrare al fondo della lista con la nomenclatura usata nella tabella e affianco un numero consequenziale ancora non utilizzato per identificare la configurazione della connessione;
 - Nella tabella "DnDict" bisognerà integrare la denominazione della connessione in modo che possa essere determinato il diametro esterno del tubo durante i controlli;
 - Allo stesso modo bisognerà integrare nella tabella "ConversioneDnDict" la denominazione della connessione in modo che possa essere determinato il diametro equivalente in pollici durante i controlli;
 - Sarà da aggiungere la denominazione della flangia nella tabella "TIPOLOGIA BOCCELLO", in modo da renderla selezionabile dai menù a tendina.
2. Se la dimensione della flangia è già presente, sarà da aggiungere il numero identificativo affianco all'ultimo che è indicato;
 - Ogni flangia supporta al massimo tre configurazioni, in caso di necessità si può aggiungere una quarta, ma sarà da aggiungere la dicitura Conf4 nella riga dell'intestazione e assicurarsi che la tabella sia isolata.
3. Nella tabella "VarSpoDict", si inserirà il numero della nuova connessione a seguito dell'ultima colonna e si inserirà la sporgenza solamente nelle righe delle varianti che la supportano;
4. Se tale connessione prevede una piastra di rinforzo per determinate configurazioni, bisognerà controllare che nella tabella "FlaPlaDict" sia già presente la taglia di piastra corretta per le varianti che lo prevedono.
5. A questo punto si può fare un test di processo fino all'aggiornamento della tabella dati, se il file della tabella dati è compilato correttamente allora si potrà passare al capitolo successivo.

5.2.2.2. Modifiche modelli SW

6. Modificare la parte configurata "FLANGIA WN PED C010V0" aggiungendo una configurazione denominata con il codice SPC del componente;
 - Modificare la configurazione appena creata secondo le dimensioni del nuovo codice;
7. Aggiungere una configurazione nel sottoinsieme "BOCCELLO PED C010V0", denominata con il numero della connessione flangiata come indicato nella tabella "FlaDict".
 - Tale configurazione sarà composta dalla flangia e dal tubo nelle configurazioni corrette.
 - Se necessario, si dovrà aggiungere una configurazione del tubo nel file "TUBO PED C010V0" denominata con il codice PRP del componente e modificata adeguatamente.
8. Una volta completati i test necessari, il processo può essere considerato concluso.

6 ARCHIVIAZIONE

In questo capitolo verrà illustrato l'iter da seguire per conservare adeguatamente i file generati dall'utilizzo del Configuratore. Il Configuratore è salvato nella cartella "Configuratore" nel server UT, mentre i file generati devono essere archiviati in cartelle descritte sotto. Il metodo corretto per salvare il lavoro è il seguente:

1. Dal file tavola di SW "PED C010V0.R00" definitivo, accedere al menu File>Pack and Go...;
2. Si aprirà una UI, deselezionare tutti i file cliccando sul quadratino in alto a sinistra;
3. Si dovranno selezionare solamente il file d'assieme, la tavola, lo schema di foratura e eventuali componenti nuovi modellati appositamente per il progetto;
4. Se si sta archiviando un disegno RDO tutti i file saranno salvati all'interno della cartella del progetto presente all'indirizzo del server UT \Disegni\Disegni 3D\RDO, tale indirizzo è selezionabile mediante il tasto Sfoglia;
 - o Cliccando il tasto Salva si inizierà il processo di esportazione, una volta ultimato si possono chiudere tutti i file di lavoro aperti;
 - o Si apra il file d'assieme esportato nella cartella RDO e si cancelli la tabella dati presente nel menu configurazioni;
 - o A questo punto si possono eliminare tutte le configurazioni che non sono state modificate;
 - o Si apra il file tavola esportato e si eliminino tutte le tavole non più valide;
 - o Si salvi il file.
5. Se si sta archiviando un disegno VES bisognerà distinguere gli indirizzi dei singoli file come di seguito:
 - o Il processo inizia dai file precedentemente salvati nella cartella RDO del server UT;
 - o I file del Modello e la tavola aggiornata secondo le specifiche descritte nel capitolo 4.3 andranno salvati nella cartella VES del server UT;
 - o Lo schema di foratura aggiornato sarà da salvare nella cartella PSV del server UT.

7 ESEMPIO PRATICO

In questo capitolo verrà illustrato come utilizzare il Configuratore per ottenere il disegno RDO del serbatoio in Figura 12.

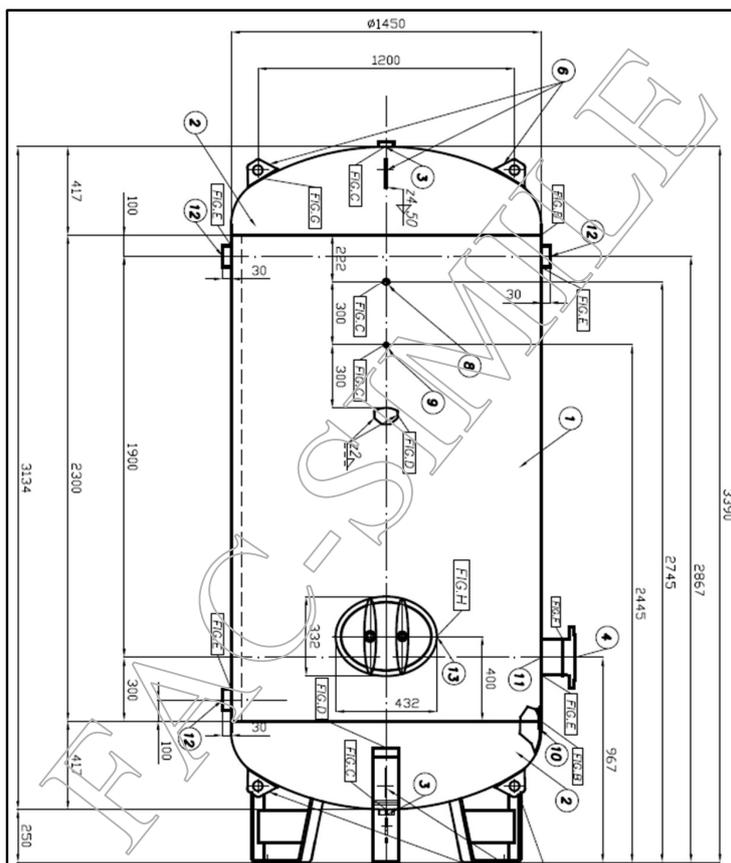


Figura 12: Schema caso pratico

7.1. RICERCA MODELLO DI RIFERIMENTO

1. Per poter configurare il serbatoio in Figura 7 prima di tutto bisognerà inserire il codice VEC corrispondente al prodotto nel campo 1 in Figura 1;
2. In questo esempio si sta analizzando un serbatoio da 5000 L a 12 bar. Dunque, utilizzando il metodo 1 spiegato al capitolo 4.1, mediante la UI si cercherà il codice VEC inserendo i parametri nella UI in Figura 3.

7.2. MODIFICA E CONTROLLO DEL SERBATOIO

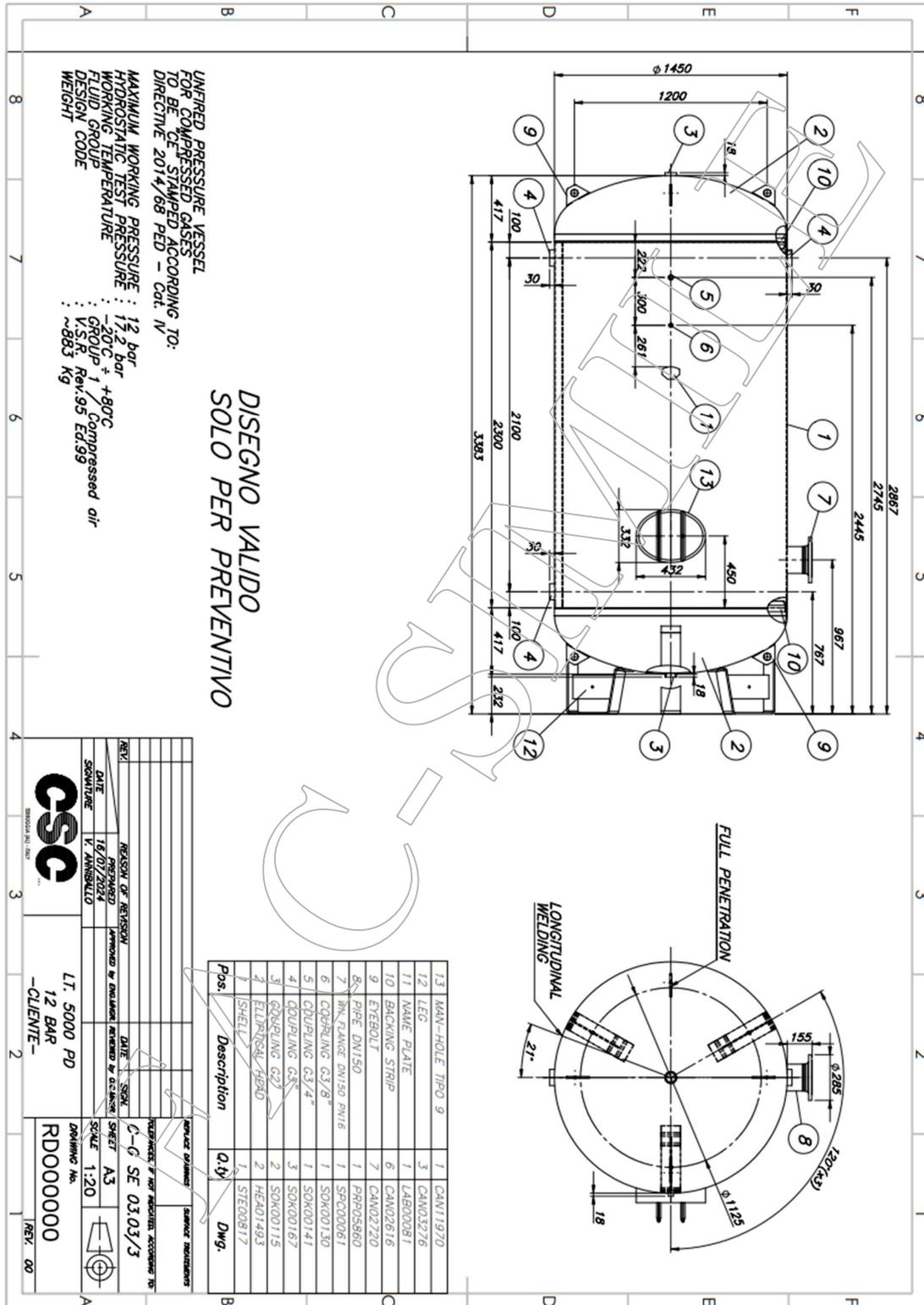
3. Conclusa questa procedura la tabella 6 in Figura 4 sarà compilata con la configurazione standard del serbatoio;
4. Inserire il nome del cliente e il codice RDO del progetto negli appositi spazi al punto 7 Figura 4;
5. A scopo didattico si esporranno entrambi i metodi di modifica esposti nel capitolo 4.2;
6. Per la prima connessione da modificare si illustrerà il metodo manuale (capitolo 4.2.2);
7. Dalla tabella 6 in Figura 4 si modificherà la riga della connessione 2 selezionando dal menù a tendina della colonna "CONNESSIONE" la voce "DN150 PN16". In automatico verrà calcolata la sporgenza tra la faccia esterna della virola e il piano della flangia;
8. In questo caso l'orientamento rimane invariato e dunque non verrà modificata la colonna "ORIENTAMENTO";
9. L'altezza dal suolo della connessione invece è diversa rispetto al serbatoio standard e dunque si andrà a compilare la colonna "ALTEZZA [mm]" con la quota richiesta dal disegno;
10. Per modificare la connessione 3 si spiegherà la procedura mediante interfaccia grafica (capitolo 4.2.1);
11. Cliccando il bottone in posizione 1 Figura 4 si aprirà l'interfaccia grafica;
12. Cliccando il bottone sinistro del mouse sulla riga della connessione 3 della tabella in posizione 2 in Figura 5 si selezionerà la connessione da modificare;
13. Cliccando il bottone in posizione 3 Figura 5 si aprirà il pop-up in Figura 6;
14. Lo stato della connessione risulta attivo e anche il tipo di connessione è corretto. Dunque, si modificherà solamente la voce altezza con la quota richiesta;

15. Una volta cliccato il pulsante “Aggiorna” la modifica sarà avvenuta con successo;
16. Si ripeta la stessa procedura con le restanti connessioni da modificare;
17. Per attivare l’ispezione passo d’uomo sarà necessario attivare l’ispezione P1;
18. Una volta aperto il pop-up di modifica della connessione P1, si può notare che lo stato risulta disattivo. Cliccando una volta sulla check-box si attiverà la connessione;
19. Nel menù a tendina della connessione si potranno selezionare solamente le ispezioni. L’orientamento e l’altezza saranno compilati automaticamente una volta cliccato il tasto “Aggiorna”;
20. Se si desidera si potrà modificare quota e orientamento di P1 dalla “Tabella riassunto parametri serbatoio” manualmente una volta chiusa l’interfaccia grafica;
21. Una volta ultimate tutte le modifiche si può avviare il controllo mediante il tasto 4 della Figura 5.

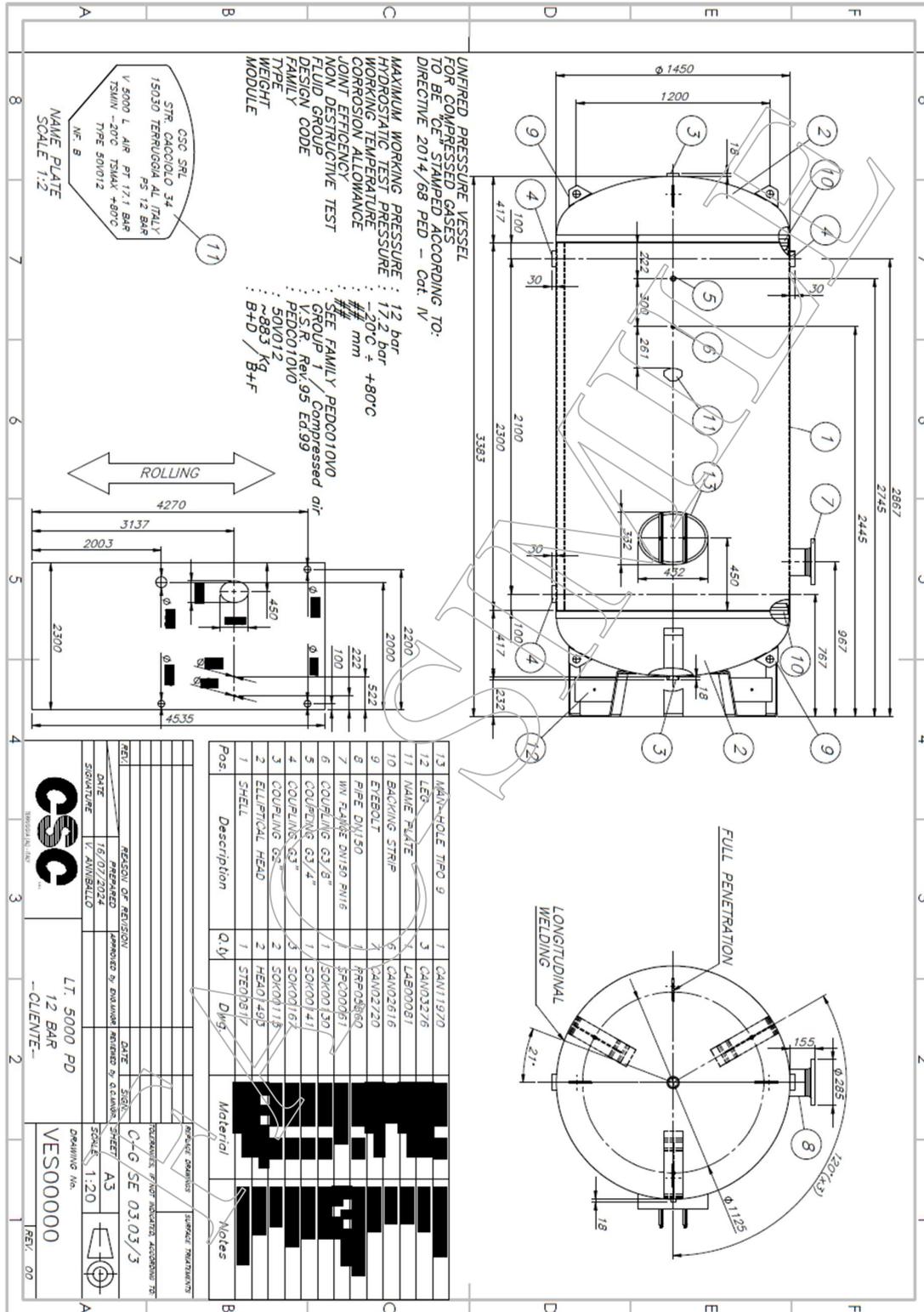
7.3. CREAZIONE MODELLO 3D

22. Prima di aggiornare il Modello si consiglia di salvare la configurazione in modo da poterla caricare successivamente con i tasti 11 e 12 in Figura 5;
23. Superati tutti i controlli si può aggiornare il Modello tramite il pulsante in posizione 6 Figura 5.
24. Da qui in poi si può seguire ciò che è stato descritto ai capitoli 4.3 e 6.
25. Le tavole RDO e VES ottenute con il Configuratore sono riportate in Allegato A e Allegato B.

8 ALLEGATO A



9 ALLEGATO B



Pos	Description	Q.ty	Dwg	Material	Notes
13	MAIN-HOLE TIPO 9	1	CAN11970		
12	LENS	3	CAN02276		
11	NAME PLATE	1	LAB00081		
10	BACKING STRIP	6	CAN02616		
9	EYE-BOLT	1	CAN02220		
8	PIPE DN150	1	FRF02860		
7	INV FLANGE DN150 PN16	1	FRF02081		
6	COUPLING G3/8"	1	SOK00130		
5	COUPLING G3/4"	1	SOK00141		
4	COUPLING G3"	3	SOK00161		
3	COUPLING G2"	2	SOK00118		
2	ELLIPTICAL HEAD	2	HEAD1405		
1	SHELL	1	STE0081V		

REV.	DESCRIPTION OF REVISION	DATE	BY	CHECKED BY
1	PREPARED BY: [REDACTED]	16/07/2024	[REDACTED]	[REDACTED]
2	APPROVED BY: [REDACTED]	16/07/2024	[REDACTED]	[REDACTED]

REGOL. DI REVISIONI
 APPROVATO
 V. ANNIBALDO
 16/07/2024
 LAVORATO PER: [REDACTED]
 APPROVATO PER: [REDACTED]

DATE
 SIGNATURE
 V. ANNIBALDO

PROVA DI [REDACTED]
 C-1-G SE 03.03/3
 SCALE 1:20

DESIGNING No.
 VES000000
 REV. 00

LT. 5000 PD
 12 BAR
 -CLIENTE-

CSC
 16/07/2024

Appendice B

Tavole tecniche

Bibliografia

- [1] Baglioni Spa. *Baglioni Pressure Solutions - Serbatoi a Pressione*. 2024. URL: <https://baglionispa.com/> (visitato il 11/09/2024) (cit. a p. 2).
- [2] Baglioni Spa. *Bilancio di Sostenibilità 2022*. PDF disponibile online. 2022. URL: https://baglionispa.com/wp-content/uploads/2024/01/REPORT_BAGLIONI_2022.pdf (visitato il 11/09/2024) (cit. alle pp. 2, 7).
- [3] European Parliament and Council of the European Union. *Directive 2014/68/EU of 15 May 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment*. Official Journal of the European Union, L 189. Disponibile all'indirizzo: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0068>. 2014 (cit. a p. 17).
- [4] Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro (I.S.P.E.S.L.) *Specificazioni Tecniche Applicative del Decreto Ministeriale 21 novembre 1972 e successive modifiche per la verifica della stabilità dei recipienti a pressione*. Raccolta VSR. Ottobre 1995 (cit. a p. 17).
- [5] The American Society of Mechanical Engineers (ASME). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels - Division 1*. ASME BPVC-2023 SET. ISBN: 9780791875827. Available at: <https://www.asme.org/codes-standards/bpvc-standards/bpvc-2023>. Lug. 2023 (cit. a p. 17).
- [6] European Parliament and Council of the European Union. *Directive 2014/29/EU of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of simple pressure vessels*. Official Journal of the European Union, L 96. Disponibile all'indirizzo: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0029>. 2014 (cit. a p. 17).

- [7] International Organization for Standardization. *ISO 9001:2015 Quality Management Systems – Requirements*. ISO Standard. Disponibile all'indirizzo: <https://www.iso.org/standard/62085.html>. 2015 (cit. a p. 24).
- [8] T. Brown. *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. HarperCollins, 2009 (cit. a p. 44).
- [9] J. Liedtka e T. Ogilvie. *Designing for Growth: A Design Thinking Tool Kit for Managers*. Columbia Business School Publishing. Columbia University Press, 2011 (cit. a p. 45).
- [10] A. Anniballo. *Design Thinking per Strategie Innovative*. 2023. URL: <https://www.carriere.it/corsi/design-thinking-per-strategie-innovative/> (visitato il 11/09/2024) (cit. a p. 47).
- [11] P. Kelly. *Excel Macro Mastery*. 2022. URL: <https://excelmacromastery.com/> (visitato il 11/09/2024) (cit. a p. 67).
- [12] E.P. Chirone e S. Tornincasa. *Disegno tecnico industriale 2*. Gruppo Editoriale Il capitello, 2010 (cit. a p. 80).
- [13] D. Graham, R. Black e E. van Veenendaal. *Foundations of Software Testing ISTQB Certification*. 4 ed. Cengage Learning, 2021. Cap. Test Levels, pp. 41–54 (cit. a p. 85).
- [14] R. Rossi. *Il manuale del disegnatore*. Disegno tecnico e meccanico. Hoepli, 2011.
- [15] P. Angeli e F. De Bona. *Fondamenti di calcolo strutturale meccanico*. Forum Edizioni, 2015.
- [16] J.E. Shigley, R.G. Budynas, J.K. Nisbett, D. Amodio e G. Santucci. *Progetto e costruzione di macchine*. Collana di istruzione scientifica. McGraw-Hill Education, 2013.
- [17] L. Caligaris, S. Fava e C. Tomasello. *Manuale di meccanica. Per gli Ist. Tecnici industriali*. Hoepli, 2005.
- [18] P. Andreini. *Manuale dell'ingegnere meccanico*. Ingegneria meccanica. Hoepli, 2002.
- [19] N. Cross. *Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work*. Bloomsbury Publishing, 2011.