

Temporanee Riparazioni delle membrature a pressione. Sviluppi sull'impiego dei materiali compositi

A. Falla¹, A. Blanco¹, C. Percolla²

¹ VED Vetroresina Engineering Development Srl

² Inail - Uot di Catania

1. Sommario

L'impiego dei compositi nella temporanea riparazione di membrature a pressione continua a rivelarsi un metodo sempre più richiesto e i risultati conseguiti e, forse, da conseguire continuano a fornire migliori informazioni per consolidare la validità stessa del tipo di riparazione.

Il limite principale è rappresentato dalla temperatura di parete della membratura, sia di applicazione che di esercizio. I produttori di resine e delle fibre danno ben precise indicazioni sulle procedure di applicazione e sui parametri geometrici e meccanici da rispettare, dando garanzie sulla durata della riparazione che di norma è di anni.

D'altro canto nel campo delle attrezzature a pressione e delle temporanee riparazioni in particolare, non sempre vi è necessità di pretendere durate così lunghe.

Il presente studio, le osservazioni fatte e i risultati conseguiti ci inducono a continuare il percorso iniziato avendo cura di ben valutare gli scenari conseguenti ad un risultato più limitato nel tempo.

Man mano si consolideranno i risultati si avranno sempre più elementi per pronunciarsi sulla durata degli interventi di riparazione futuri.

La massima temperatura di parete per l'applicazione del composito a cui ad oggi si è operato è di 130 °C. Per arrivare a ciò sono state messe in atto delle tecniche di applicazione dove il fattore umano è fondamentale. In particolare è necessario essere veloci nell'applicazione del primo strato di composito, quello immediatamente a contatto con la membratura metallica. Si è inoltre lavorato tanto sulla preparazione superficiale delle membrature ricorrendo ad aero-pulitrici che oltre a potersi impiegare in ambienti a rischio incendio permettessero di ottenere profili di ancoraggio di livello superiore.

Dal punto di vista normativo si è fatto riferimento al d.lgs. 22/06/2012 n°83 art.36 punto 5 e a quanto in esso richiamato. Le norme tecniche osservate sono la ISO/24817, *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Composite repairs for pipework - Qualification and design, installation, testing and inspection* e l'ASME PCC-2, *Repair of Pressure Equipment and Piping*.

2. La legislazione per le temporanee riparazioni

L'utilizzatore di una qualsiasi attrezzatura o insieme a pressione, nel corso della normale attività gestionale, ha l'obbligo di garantire il perfetto stato di conservazione dell'impianto nel suo complesso e quindi di ogni componente dello stesso. Di conseguenza dovrà predisporre un piano di manutenzione ordinario e straordinario con cui accertare e confermare o meno lo stato di integrità delle attrezzature in esercizio; nei casi in cui non è possibile confermare il buono stato d'integrità dell'attrezzatura, l'utilizzatore deve predisporre una attività di "riparazione" tale da poter ripristinare le condizioni di sicurezza originarie dell'attrezzatura e/o dell'insieme. Il legislatore ha previsto tali azioni, tant'è che nel decreto legislativo del 1 dicembre 2004 n°329, all'Art.14 specifica cosa si intende per riparazione di una attrezzatura a pressione e come bisogna agire nel caso in cui si dovesse ritenere necessario intervenire. Nello specifico l'Art.14 del d.lgs 329/04 recita " la

riparazione consiste nella sostituzione di parte di un'attrezzatura a pressione oppure nella riparazione con o senza saldatura, senza variazione alcuna del progetto originario".

L'utilizzatore, nel caso in cui ritiene necessario intervenire con una attività di riparazione su una singola attrezzatura o più parti di un impianto a pressione, deve porre fuori servizio l'impianto o parti di esso; il porre fuori servizio un impianto a pressione in molti casi comporta una serie di azioni che possono richiedere un impegno temporale notevole con fasi in cui il livello di rischio potrebbe essere elevato.

Il legislatore ha previsto che in certe condizioni l'utilizzatore possa intervenire anche con l'attrezzatura in esercizio; si evidenzia che il legislatore ha autorizzato una azione eccezionale solo per alcuni impianti, nello specifico per *"gli impianti a ciclo continuo, per quelli che rivestono carattere di pubblica utilità o servizio essenziale, in presenza di difetti che possono pregiudicare la continuità di esercizio di un'attrezzatura"*. Per questa tipologia di impianti a giudizio e sotto la responsabilità dell'utilizzatore possono essere effettuati interventi "temporanei di riparazione" finalizzati a mantenere la stabilità strutturale dell'attrezzatura e garantire il contenimento delle eventuali perdite per il tempo di ulteriore esercizio. Questo è quanto previsto dall'Art. 36, comma 5.2 del Decreto Legge del 22 giugno 2012 n.83 con cui si modifica l'Art.57, comma 9, del Decreto Legge del 9 febbraio 2012, n.5, convertito con modificazioni nella legge del 4 aprile 2012, n.35 recante "disposizioni urgenti in materia di semplificazioni e di sviluppo". Lo stesso decreto legge precisa che le temporanee riparazioni sono eseguibili secondo le specifiche tecniche previste nel decreto del 1 dicembre 2004 n.329 o norme tecniche internazionali riconosciute.

Per le Temporanee Riparazioni è disponibile la UNI/TS 11325-5 "Messa in servizio ed utilizzazione delle attrezzature e degli insiemi a pressione - Parte 5; interventi temporanei sulle attrezzature a pressione" con la quale si forniscono indicazioni operative di base per gli interventi temporanei da effettuare su attrezzature a pressione appartenenti a determinate categorie di impianti sulle quali sono stati rilevati difetti che ne possono pregiudicare il funzionamento. La specifica tecnica precisa - in accordo con il già citato Art. 36 del d.lgs. 22/12 n. 83 - che questa tipologia di riparazione è finalizzata a mantenere la stabilità strutturale dell'attrezzatura per il tempo di ulteriore esercizio fino alla fermata successiva dell'attrezzatura o al limite temporale stabilito nell'analisi dei rischi se inferiore. Tale specifica può trovare applicazione su tubazioni, recipienti, generatori di vapore e generatori acqua surriscaldata.

La tipologia d'intervento di temporanea riparazione, come definita nella specifica tecnica UNI/TS 11325-5, è anche presente a livello internazionale, per esempio API 570, API 579, etc. etc., in cui vengono definite le metodologie applicabili per gli interventi temporanei e/o per l'esercizio temporaneo in presenza di difetti.

3. Norme tecniche internazionali

Le temporanee riparazioni di elementi (tubazioni, serbatoi, Vessel) con materiali compositi nell'ambito dei settori petrolchimico, chimico e produzione di energia sono regolarizzate da degli standard internazionali, come la ISO 24817 *"Riparazione con sistemi compositi per l'industria petrolifera petrolchimica e del gas, qualifica e progetto, installazione test e ispezione"* e la ASME PCC-2.

Le due norme, tra loro molto simili, stabiliscono quali sono le condizioni di applicabilità, le richieste progettuali, come eseguire la progettazione dell'intervento come qualificare i materiali (prove da eseguire sui materiali da utilizzare) come qualificare il personale operativo e quali sono i controlli da eseguire durante le varie fasi, dalla progettazione all'applicazione.

La norme dividono le riparazioni in due grandi famiglie:

- Riparazione di tipo A (interventi su elementi dove non è ancora presente un foro);

- Riparazione di tipo B (interventi su elementi dove è presente un foro o lo spessore residuo sia inferiore ad 1 mm).

Con riferimento alla tipologia delle riparazioni la normativa divide le stesse in tre classi secondo la seguente tabella:

| Repair Class | Typical Service | Design Pressure | Design Temperature |
|----------------|---|--|---|
| Class1 | Low specification duties, e.g. static head, drains, cooling medium, sea (service) water. | < 2Mpa | < 40°C |
| Class 2 | Fire water/deluge systems | < 2Mpa | < 100°C |
| Class 3 | Produced water and hydrocarbons, flammable fluid, gas systems Class 3 also covers operating conditions more onerous than described above | Limited to repairs designed in compliance with this International Standard and of a thickness equivalent to < D/12 | E' funzione del tipo di riparazione e dei valori di Tg e dell'HDT |

Tabella 1. Classi di tipologia d'intervento

La normativa stabilisce quali sono le prove da eseguire sui materiali per definire l'applicabilità degli stessi per le diverse tipologie e per le diverse classi di riparazione.

Quindi le materie prime (resine, tessuti in fibra di vetro e carbonio, top coat, pulitori etc.), devono essere testati secondo le normative di riferimento e qualificati da importanti enti certificatori.

In accordo alla normativa e sulla base dei risultati dei test eseguiti sui materiali, si può elaborare un software o un processo di calcolo per la progettazione meccanica dell'intervento di riparazione.

L'applicazione dei prodotti per la riparazione viene eseguita manualmente con il metodo "Hand lay-up", ed è in genere difficilmente meccanizzabile; pertanto, le norme pongono particolare attenzione alle attività di posa, e di conseguenza alla qualifica del personale addetto alle riparazioni. È previsto infatti che il personale sia qualificato dal produttore dei materiali (Henkel effettua dei corsi con test finale alla presenza degli enti certificatori) e che questa qualifica sia mantenuta nel tempo in funzione del numero degli interventi positivi in esso eseguiti.

La procedura Henkel in conformità a quanto previsto dalle norme è puntuale e precisa; i parametri fondamentali, importanti per la riuscita della riparazione, su cui non viene ammessa deroga alcuna, sono la preparazione superficiale del supporto e la capacità di posa del personale.

La normativa è molto restrittiva e prevede tutta una serie di check list, tra cui una relativa alla ispezione preliminare delle membrane da riparare e un'altra relativa al monitoraggio delle attività di esecuzione dell'intervento, fase per fase, fino ai controlli finali a valle della riparazione ad ulteriore conferma della qualità raggiunta.

4. Perché riparare con i compositi

I materiali compositi negli ultimi decenni sono sempre più presenti nella vita quotidiana di ognuno di noi, in quanto:

- hanno eccellente resistenza alla corrosione;
- sono molto leggeri;
- hanno resistenze meccaniche almeno paragonabili a quelle dei tradizionali materiali da costruzione;
- si prestano ad essere sagomati facilmente senza dover dare o spendere energia per acquisire forme particolari.

Ne consegue che negli anni questi materiali hanno sempre più sostituito quelli tradizionali. Oggi sarebbe impensabile immaginare componenti di automobili in metallo tanto si è abituati a non vederli più da tempo.



Figura 1. Piping in materiale composito

Nel settore petrolifero, della raffinazione e dell'energia, dove la corrosione e la ricerca di materiali alternativi con pesi contenuti è stata da sempre perseguita, questi materiali sono presenti ormai da circa 60 anni, prendendo il posto di tanti altri materiali tradizionali: tubazioni (**Figura 1**), serbatoi, grigliati, profilati (**Figura 2**), supporti di materiale composito sono ormai di uso comune.



Figura 2. Strutture in materiale composito

Negli ultimi 10 anni tali materiali hanno incominciato ad essere utilizzati anche nelle riparazioni e nelle ristrutturazioni (sia in ambito industriale che civile), infatti le caratteristiche di leggerezza, resistenza alla corrosione, alta capacità di resistenza agli sforzi e l'adattabilità a forme anche complesse ed irregolari fanno sì che essi si prestino ad essere impiegati per l'esecuzione di riparazioni in opera.

La riparazione di una pipeline o di un serbatoio effettuata con materiali compositi è progettata in funzione delle caratteristiche della linea o del serbatoio, garantisce l'alta resistenza meccanica (**Figura 3**), non appesantisce la struttura, eventualmente già indebolita da anni di esposizione agli agenti chimici ed atmosferici presenti all'interno di un sito industriale (normalmente ammalorata dalla corrosione). Una membratura riparata con i compositi risulta sempre protetta dall'attacco di eventuale corrosione esterna (**Figura 4**).

Grazie alla lavorabilità, non vi sono limiti dimensionali nell'esecuzione della riparazione. Per effettuare una riparazione con i compositi non serve ricorrere ad attrezzature elettriche o che comunque potrebbero risultare essere pericolose da impiegare in ambienti a rischio incendio e/o esplosione (zone ATEX). L'intervento normalmente è abbastanza veloce e in pochi giorni si può passare dall'analisi del problema alla progettazione dell'intervento e all'esecuzione della riparazione.



Figura 3. Rinforzo strutturale

Tutto ciò porta ad asserire che la riparazione con i compositi è veloce in quanto si passa rapidamente dalla ispezione alla progettazione e quindi all'intervento di riparazione e subito viene ripristinata l'integrità strutturale della membratura permettendo l'esercizio dell'apparecchiatura in condizioni di sicurezza.

Le uniche vere limitazioni di un intervento di riparazione con i materiali compositi, sono:

- la temperatura di parete e di esercizio;
- l'aggressività di taluni fluidi alla resina.



Figura 4. Rinforzo strutturale di una linea interrata

Allo stato attuale la temperatura di esercizio massima ammissibile della membratura riparata è maggiore della temperatura massima ammissibile nella fase di riparazione.

Per quanto riguarda il secondo punto è bene valutare se si sta eseguendo la riparazione per difetti passanti o per difetti che non interessano tutto lo spessore di parete, in quest'ultimo caso, sempre nell'ottica che si sta eseguendo una temporanea riparazione, un'attenta valutazione sulla velocità di corrosione potrebbe portare ad escludere che durante la vita della riparazione il fluido possa venire a contatto con il composito.

5. Cosa chiede il mercato

Gli utilizzatori di impianti industriali chiedono che gli interventi siano veloci, eseguiti in condizioni di sicurezza per gli addetti alla riparazione, che si continui ad esercire l'apparecchiatura senza rischi di qualsiasi natura e tipo, che si eviti lo sversamento di prodotti nell'ambiente, che l'intervento consenta di esercire l'impianto fino alla prima successiva manutenzione programmata.

Il mercato è quindi in continua evoluzione e gli interventi di riparazione riguardano sempre maggiori tipologie di applicazione. Soprattutto si vuole riuscire ad aumentare le temperature massime di applicazione della riparazione nonché la temperatura di esercizio a riparazione avvenuta; chiaramente ci si riferisce sempre alle temperature di parete della membratura. A piccoli aumenti della temperatura si amplia di parecchio il campo di applicazione delle riparazioni possibili da eseguire. Altro aspetto a cui il mercato fa molta attenzione è l'uso di attrezzature che garantiscano la corretta preparazione superficiale ai fini di riuscire ad eseguire un profilo di ancoraggio idoneo, senza arrecare ulteriore danno alla membratura da riparare. Infatti è necessario minimizzare il rischio di peggiorare i difetti a seguito della preparazione della superficie all'applicazione della riparazione. Il campo di applicazione di tali interventi si sposta anche verso la prevenzione; infatti eseguendo dei controlli preventivi si può intervenire prima che nell'elemento compaia una perdita, e agire preventivamente evitando danni economici, a persone, cose ed ambientali. Le attività preventive offrono sempre maggiore garanzia.

6. Stato della ricerca applicata

Le società produttrici di materie prime, continuano la fase di ricerca cercando di spostare verso l'alto i limiti di detti materiali; si evidenzia che dall'inizio di un test all'ottenimento di un risultato validato e certificato trascorrono tempi che vanno da sei mesi a qualche anno. Un parametro fondamentale su cui si sta lavorando è la temperatura di lavoro delle resine. Henkel ha certificato resine fino a 130°C.

Altro parametro, come già detto, sotto osservazione, è la preparazione superficiale; il raggiungimento della qualità di una preparazione superficiale va contestualizzato con le condizioni di impianto in cui spesso si incontrano difficoltà anche di manovra.

Particolare attenzione deve essere prestata al personale operativo che deve essere adeguatamente istruito e deve avere le esperienze necessarie, sia in termini di applicazione dei materiali compositi e soprattutto di lavoro all'interno di siti industriali. Si ribadisce che spesso si opera all'interno di impianti industriali a rischio di incidente rilevante ed in marcia.

Un aspetto importante da considerare è la temperatura di parete durante le fasi di applicazione del rinforzo. Bisogna prestare particolare attenzione quando l'applicazione di detti materiali avviene a temperature superiori i 40°C.

Lo studio eseguito riguarda appunto la posa in opera di rinforzi strutturali a temperature superiori ai 40°C. In tale circostanza, la preparazione superficiale e l'abilità degli operatori componenti la squadra di lavoro, (solitamente da due o tre tecnici in funzione delle condizioni globali), sono fondamentali per la riuscita della riparazione il cui risultato non è immediato ma che si vedrà nel tempo.

Nello studio oggetto del presente lavoro sono stati eseguiti due test. Uno con temperatura di applicazione di poco maggiore di 80°C e un altro con temperatura di applicazione di 130 °C.

Sono stati predisposti due mock-up (**Figura 5**), costituiti da tubo di acciaio al carbonio del DN 8" ciecato alle estremità. Sulla parete del tubo è stato eseguito un foro del diametro di 10 mm nella parte centrale della zona da sottoporre a riparazione simulata.



Figura 5. Predisposizione del provino

- Test di prova a 80 °C

Predisposto il mock-up, con aero-pulitrice è stata eseguita la preparazione superficiale con l'utilizzo di acqua ed inerte.



Figura 6. Verifica della preparazione superficiale

Verificata la giusta rugosità superficiale (**Figura 6**) si è proceduto a portare la temperatura di parte del mock-up ad 80 °C tramite acqua riscaldata che ricircolava al suo interno.



Figura 7. Riscaldamento del provino

Raggiunta la temperatura di prova la stessa è stata mantenuta costante a circa 80°C (**Figura 7**) durante tutta la durata dell'esecuzione del rinforzo. Si sono preparate le bende impregnandole di resina secondo le procedure Henkel e si eseguito il rinforzo strutturale sul mock-up. (**Figura 8 – Figura 9**)



Figura 8. Preparazione delle bende



Figura 9. Esecuzione rinforzo strutturale



Figura 10. Completamento della riparazione mock-up

Terminate le operazioni di rinforzo strutturale (**Figura 10**) il mock-up è stato sottoposto a test idraulico raggiungendo una pressione idrostatica di oltre i 40 bar (**Figura 11**).



Figura 11. Test idraulico

- Test di prova a 130°C

La preparazione del mock-up è stata uguale al caso precedente (**Figura 12**);



Figura 12. Preparazione superficiale

In questo caso però per poter portare la temperatura di parete a 130°C (**Figura 14**) si è fatto uso di resistenze elettriche che hanno riscaldato il provino e mantenuto costante a circa 130°C (**Figura 14**) la temperatura per tutta la durata dell'applicazione del rinforzo.



Figura 13. Riscaldamento del provino Figura 14. Temperatura del provino

Si è proceduto quindi alla attività di rinforzo strutturale. In questo secondo caso l'applicazione del rinforzo si è confermata più complessa rispetto al primo, ed è stata evidente la necessità di sincronizzazione e l'intendimento degli operatori componenti la squadra addetta alla simulazione. Infatti l'alta temperatura porta ad una evidente catalisi veloce della resina, e ad una degassazione importante (**Figura 15**).



Figura 15. Varie fasi dell'esecuzione del rinforzo strutturale



Figura 16. Completamento della riparazione

Anche con queste difficoltà si è riusciti ad eseguire il rinforzo del provino (**Figura 16**). Completate le operazioni di rinforzo strutturale il mock-up è stato sottoposto a test idraulico alla pressione di 20 bar.

7. Conclusioni

Si conclude la presente trattazione con la convinzione che queste tipologie d'intervento possano risolvere tutta una serie di problematiche degli impianti industriali migliorando sia le condizioni di sicurezza che le condizioni ambientali (**Figura 17**).



Figura 17. Esecuzione di rinforzo strutturale su tubazione ammalorata

Infatti l'esecuzione di un rinforzo strutturale consente di poter intervenire su una membratura in fase preventiva, cioè non appena si viene a conoscenza del decadimento della stessa, sia essa per corrosione esterna o interna, per erosione, o per altri motivi ancora. La membratura può essere riparata riportandola alle condizioni iniziali, evitando la possibilità di innescare perdite e/o situazioni di pericolo, e continuare l'esercizio dell'impianto in sicurezza e senza arrecare danni all'ambiente.



Figura 18. Esecuzione di rinforzi strutturali in presenza di perdite

Nel caso di situazioni particolari con membrature troppo ammalorate con presenze di fuoriuscita di prodotti od anche con temperature elevate, questo intervento può essere comunque di ausilio, in quanto si riesce ad intervenire in tempi rapidi, consentendo il prosieguo dell'esercizio dell'impianto sia pure con aspettative di durata più limitate nel tempo ma tali da permettere il raggiungimento in sicurezza dell'intervento di manutenzione definitivo (**Figura 18**).

È nostra convinzione che nei prossimi anni, riparazioni di questo tipo saranno sempre più richieste da chi esercisce questa tipologia d'impianti, in quanto non sono invasive, sono di veloce esecuzione, non vanno a gravare sulle strutture (talvolta ammalorate tanto quanto la membratura da riparare), si prestano ad essere applicate anche a forme complesse ed estese (**Figura 19**).



Figura 19. Intervento di rinforzo strutturale su una Tee con evidente foro

Se l'intervento viene eseguito in fase preventiva (prima che si verifichi una rottura con conseguente emissione nell'ambiente del prodotto), (Figura 17) lo stesso potrà essere una valida soluzione, per migliorare i rischi ambientali e di sicurezza, in quanto si annullano le possibilità di rottura delle membrane con fuoriuscita di prodotti pericolosi.

Si può affermare con convinzione che la ricerca si concentrerà sul tentativo di aumentare la temperatura di resistenza massima raggiungibile in esercizio, facilitare la posa a temperature sempre più elevate, ricercare al meglio le compatibilità con i diversi fluidi (alle diverse temperature) presenti all'interno degli stabilimenti industriali.

8. Bibliografia

[1] ISO 24817:2017(E) Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Composite repairs for pipework – Qualification and design, installation, testing and inspection