

AUTOSTRADA (A1) : MILANO – NAPOLI

TRATTO : BARBERINO – FIRENZE NORD

**AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA
BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO**

LOTTO 2

PERIZIA DI VARIANTE N.1

A1 – NUOVA CARREGGIATA SUD

GN12 – GALLERIA SANTA LUCIA

RIVESTIMENTO GALLERIA

ANELLO IN CONCI PREFABBRICATI

RELAZIONE TECNICA

pavimental s.p.a.
Direttore Tecnico
(Geom. I. Menegola)

| | | |
|--|---|---|
| <p>IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</p> <p>Ing. Simona COMI Ord. Ingg. MILANO N.18014</p> <p><i>Simona Comi</i></p> <p>RESPONSABILE UFFICIO TUN</p> | <p>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p> <p>Ing. Carlo LOMBARDI Ord. Ingg. ANCONA N. 3957</p> <p><i>Carlo Lombardi</i></p> <p>IL DIRETTORE DEI LAVORI</p> | <p>IL DIRETTORE TECNICO</p> <p>Ing. Giulio GHEZZI Ord. Ingg. PESARO-URBINO N. 1768</p> <p><i>Giulio Ghezzi</i></p> |
|--|---|---|

| CODICE IDENTIFICATIVO | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ordinatore: |
|-----------------------|-----------|-----------------------------|------|----------|-----------|---|--|---------------|--|--|------|------------|-----------------------|-----------------|--|--|--|-------------|
| RIFERIMENTO PROGETTO | | | | | | RIFERIMENTO DIRETTORIO | | | | | | | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | | |
| Codice Commessa | | Lotto, Sub- Cod. Appalto | Fase | Capitolo | Paragrafo | <div><div></div>WBS<div></div></div> Tipologia progressiva | | PARTE D'OPERA | | | Tip. | Disciplina | Progressivo | Rev. | | | | |
| 3 | 101820899 | | | | | GN12 | | | | | RTUN | 2020 | 2 | SCALA: VARIE | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|--|------------|--|--|--|-------------|--|--|--|-------------------------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------|--|-----|--------------|--|
|   | SOSTITUISCE RIFERIMENTO ELABORATO: | | | | | | | | | | SUPPORTO SPECIALISTICO: | | | | | | | | | | REVISIONE | | | | |
| | Tip. | | Disciplina | | | | Progressivo | | | | | | | | | | | | | | Rev. | | n. | data | |
| | --- | | --- | | | | --- | | | | | | | | | | | | | | --- | | PV1 | OTTOBRE 2017 | |
| | --- | | --- | | | | --- | | | | --- | | | | | | | | | | | | | | |
| | --- | | --- | | | | --- | | | | --- | | | | | | | | | | | | | | |
| REDATTO: | | | | | | | | | | | | VERIFICATO: | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|--|---|---|
| | <p>VISTO DEL COMMITTENTE</p> <p>autostrade // <i>per l'italia</i></p> <p>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Giuseppe DI GIULIO</p> | <p>VISTO DEL CONCEDENTE</p> <p></p> <p>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA E CONTROLLO</p> |
|--|---|---|

AUTOSTRADA A1 MILANO - NAPOLI
AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO

Galleria Santa Lucia

Rivestimento Galleria – Anello in conci prefabbricati

Relazione tecnica

Sommario

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 5 |
| 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA | 6 |
| 3. BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO | 7 |
| 4. RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI – LAYOUT GENERALE E DETTAGLI | 9 |
| 5. DEFINIZIONE DELLE ARMATURE – EQUIVALENZA STATICA CON LA SOLUZIONE DI P.E..... | 14 |
| 5.1. Verifica dei conci in fase di spinta..... | 15 |
| 5.1.1. Modello 1..... | 18 |
| 5.1.2. Modello 2..... | 22 |
| 5.1.3. Modello 3..... | 25 |
| 5.1.4. Verifiche statiche..... | 26 |
| 5.1.5. Verifica dell'armatura di frettaggio..... | 29 |
| 6. SISTEMA DI CONNESSIONE LONGITUDINALE..... | 32 |
| 6.1. Specifiche tecniche..... | 32 |
| 6.2. Verifiche Statiche..... | 35 |
| 6.2.1. Verifica in fase transitoria (montaggio dei conci)..... | 35 |
| 6.2.1.1. Azione agente: peso proprio | 36 |
| 6.2.1.2. Azione agente: peso proprio + guarnizione..... | 37 |
| 6.2.2. Verifica in fase di esercizio (schiacciamento della guarnizione)..... | 39 |
| 6.2.3. Verifica in esercizio (continuità statica del rivestimento) | 42 |
| 7. SISTEMA DI CONNESSIONE TRASVERSALE..... | 43 |
| 8. BARRA GUIDA | 44 |
| 9. GUARNIZIONE DI TENUTA IDRAULICA | 45 |
| 10. ELEMENTO DI TENUTA AGGIUNTIVO | 49 |
| 11. CONCLUSIONI – QUADRO SINTETICO..... | 50 |

| | |
|---|------------|
| ALLEGATO A – Sistema di connessione “Easy Click Magnum” – Test di resistenza a Pull-out e Taglio | 52 |
| ALLEGATO B – Sistema di connessione trasversale – Bulloni in acciaio | 56 |
| ALLEGATO C – Sistema di connessione trasversale – Bulloni in acciaio – Pull-Out Test | 62 |
| ALLEGATO D – Sistema di connessione trasversale – Bulloni in acciaio – Shear Test | 65 |
| ALLEGATO E – Barre guida | 70 |
| ALLEGATO F – Guarnizione di tenuta idraulica | 74 |
| ALLEGATO G – Guarnizione di tenuta idraulica – Load/Displacement Test + Short term relaxation Test (STUVA) | 75 |
| ALLEGATO H – Guarnizione di tenuta idraulica – Stress relaxation Test (STUVA) | 91 |
| ALLEGATO I – Guarnizione di tenuta idraulica – Water Tightness Test (STUVA) | 107 |
| ALLEGATO L – Elemento di tenuta aggiuntivo | 123 |

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione tecnica si descrivono le principali caratteristiche del rivestimento definitivo della Galleria Naturale “Santa Lucia”, realizzato mediante anelli in conci prefabbricati. La Galleria fa parte dei lavori di ampliamento a tre corsie dell’Autostrada A1 “Milano-Napoli”, nel tratto Barberino – Firenze Nord.

Nell’ambito della redazione del Progetto Esecutivo di dettaglio si è operata una modifica tecnica al layout del rivestimento, di tipo geometrico, mantenendo inalterate le caratteristiche prestazioni ed i requisiti previsti in sede di Progetto Esecutivo approvato. La modifica è relativa all’adozione di uno schema di anello costituito da 9 conci, tutti di medesime dimensioni, diversamente dalla soluzione di P.E. che prevedeva un layout da 9 conci + la chiave. Si è inoltre previsto un allungamento dell’anello da 2.0 m a 2.2 m.

Sono inoltre presentate le scelte effettuate in sede costruttiva per gli accessori del rivestimento: di collegamento (barra guida, bulloni e connettori) e di tenuta idraulica (guarnizione), verificando il rispetto delle specifiche tecniche richieste dal P.E..

In particolare, dopo un breve inquadramento dell’opera e del contesto geologico-geotecnico, si descrivono in dettaglio le caratteristiche del rivestimento mediante anelli di conci prefabbricati, fornendo le geometrie ed i dettagli costruttivi. Si riporta in dettaglio la definizione delle armature dei conci (determinate per equivalenza con quelle definite in fase di Progetto Esecutivo) e la descrizione e verifica degli accessori che si intende impiegare.

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La Galleria "Santa Lucia" presenta lunghezza pari a circa 7.548 m.

La piattaforma stradale della galleria è costituita da tre corsie di 3.75 m di larghezza e due banchine da 0.70 m. A sinistra l'elemento marginale è costituito da un profilo redirettivo, mentre a destra da un marciapiede non sormontabile di larghezza minima pari a 60 cm, in modo da poter costituire una via di allontanamento protetta in caso di guasto al veicolo.

La galleria sarà realizzata mediante l'uso di una macchina di scavo a piena sezione "a contropressione di terra" (EPB: Earth Pressure Balance), che attualmente su scala mondiale è diventata la tecnologia di scavo e costruzione di gallerie più diffusa.

3. BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Le unità geologiche presenti lungo il tracciato della galleria sono rappresentate dai depositi di copertura (depositi di frana quiescente ed in evoluzione) e dal substrato lapideo costituito dalle Formazioni di Monte Morello (MLL) e del Sillano (SILL), suddivisa in tre facies, Sillano propriamente detto, litofacies marnoso calcarea (SILLmc) e litofacies arenacea (SILLar). Lo scavo della galleria naturale mediante TBM interesserà esclusivamente le formazioni rocciose, per le quali si riporta nel seguito una breve descrizione:

- **Formazione di Monte Morello (MLL).** È una formazione di natura flyschoidale, costituita da un'alternanza di calcari e calcari marnosi nocciola e grigio chiari da compatti a granulosi, talora con base calcarenitica, marne da avana a grigie e siltiti grigie talvolta scure. Localmente sono presenti calcilutiti e livelli di calcareniti, a grana fine o media, da sottili a medi, più frequenti verso la base della formazione, con impronte di fondo dovute a bioturbazione o ad impatto. I calcari e le marne mostrano un caratteristico colore biancastro all'alterazione. Talora sono presenti liste e livelli di selce scura. È la formazione più diffusa lungo il tracciato della Galleria Santa Lucia, che raggiunge la massima copertura (270m) in corrispondenza della formazione del Monte Morello. Generalmente si presenta con medio buone caratteristiche geomeccaniche, salvo per le porzioni interessate da strutture tettoniche che ne aumentano il grado di separazione strutturale, facendo diminuire i parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso.
- **Formazione del Sillano (SILL).** Si tratta di una formazione complessa costituita da un'alternanza di argilliti prevalenti, marne grigie e nerastre, siltiti grigio scure con calcari e calcari marnosi grigi, calcareniti prevalentemente sottili, fini di colore grigio, grigio-verdastro, calcari silicei verdastri. Il colore di alterazione dei calcari e delle calcareniti è frequentemente bruno e/o verdastro con patine scure. Le argilliti presentano una struttura scagliosa. Frequentemente gli strati dei litotipi più competenti, a causa della tettonizzazione, non mostrano continuità laterale tale da permettere di tracciarne con certezza i limiti. In sondaggio le porzioni marnoso siltose sono frequentemente molto foliate con diffusissime patine lucide e con fissilità simile a quella delle argilliti. Oltre al Sillano propriamente detto sopradescritto, sono state distinte due litofacies, litofacies arenacea e litofacies marnoso calcarea. Generalmente il Sillano propriamente detto si presenta con caratteristiche geomeccaniche medio scarse, le peggiori di tutto il tracciato della galleria, sia per i parametri di resistenza, sia per quelli di deformabilità; sono stati inoltre rilevati al suo interno, minerali argillosi con proprietà rigonfianti.

Litofacies Arenacea (SILLar): Alternanza pelitico arenacea di calcareniti ed arenarie in strati da sottili a spessi, marne argillose e siltose da compatte a foliate ed argilliti di color grigio e grigio scuro - nerastro. Subordinati calcari grigio chiari al taglio fresco e marrone giallastro con patine scure all'alterazione. Le calcareniti sono prevalentemente fini e subordinatamente medio - grossolane, di color grigio al taglio e marrone all'alterazione. Arenarie gradate da medio - fini a finissime, con impronte di fondo ben marcate ed abbastanza frequenti. Rispetto al Sillano propriamente detto contiene una maggiore quantità della porzione arenacea, pertanto è caratterizzato da proprietà di resistenza e deformabilità leggermente migliori.

Litofacies marnoso-calcarea (SILLmc): Alternanza di marne grigie, grigio scure, calcari grigi ed argilliti. Questa litofacies è presente solo in tratte limitate del tracciato, dove si registra un sensibile aumento dei calcari e delle marne. Anche in questo caso, rispetto al Sillano propriamente detto, la litofacies marnoso calcarea possiede parametri geomeccanici leggermente migliori.

Nella tabella seguente si sintetizzano i parametri geomeccanici relativi a cinque sezioni ritenute rappresentative di tutti i contesti geologici presenti lungo il tracciato della Galleria S. Lucia, così come dedotto dai documenti di Progetto Esecutivo approvato.

| Sezione | Prog. Km | Copertura (m) | Formaz. | γ | GSI | Em (Mpa) | c' (Mpa) | ϕ' |
|---------|----------|---------------|----------------|----------|-------|-------------|-------------|---------|
| 1 | 4+550 | 110 | SILL | 23 | 20-25 | 550-700 | 0,100-0,125 | 24-26 |
| 2 | 7+675 | 100 | Sillmc | 25 | 35-40 | 2300-3000 | 0,280-0300 | 39-41 |
| 3 | 9+460 | 105 | Sillar | 25 | 25-35 | 3500-6300 | 0,550-0,700 | 48-51 |
| 4 | 8+230 | 270 | MML (I) | 25,5 | 55-60 | 12000-16000 | 1,400-1,700 | 50-51 |
| 5 | 8+230 | 270 | MML (II) | 25,5 | 35-45 | 4000-7000 | 0,800-1,000 | 44-47 |
| 6 | 7+770 | 100 | MML Fratturato | 25,5 | 25-30 | 1500-2000 | 0,245-0,280 | 39-41 |

Tabella 1 – Parametri geomeccanici

Infine, dal punto di vista idrogeologico, nella figura seguente si riporta l'andamento della piezometrica al di sopra della galleria e del "battente piezometrico"; si segnala in particolare che, sulla base della campagna di indagini geotecniche condotte, è stato possibile apprezzare che la Formazione di Sillano - fermo restando una circolazione idrica sotterranea, soprattutto nella facies arenacea, e acquiferi localizzati comunque superficiali e di modesta entità - è prevalentemente in condizioni di parziale saturazione e, conseguentemente, non si ha un vero e proprio carico idrostatico o battente d'acqua alla profondità della galleria. Si hanno livelli piezometrici fino a 100-120 m sopra la calotta della galleria, con battenti equivalenti pari a 70 m.

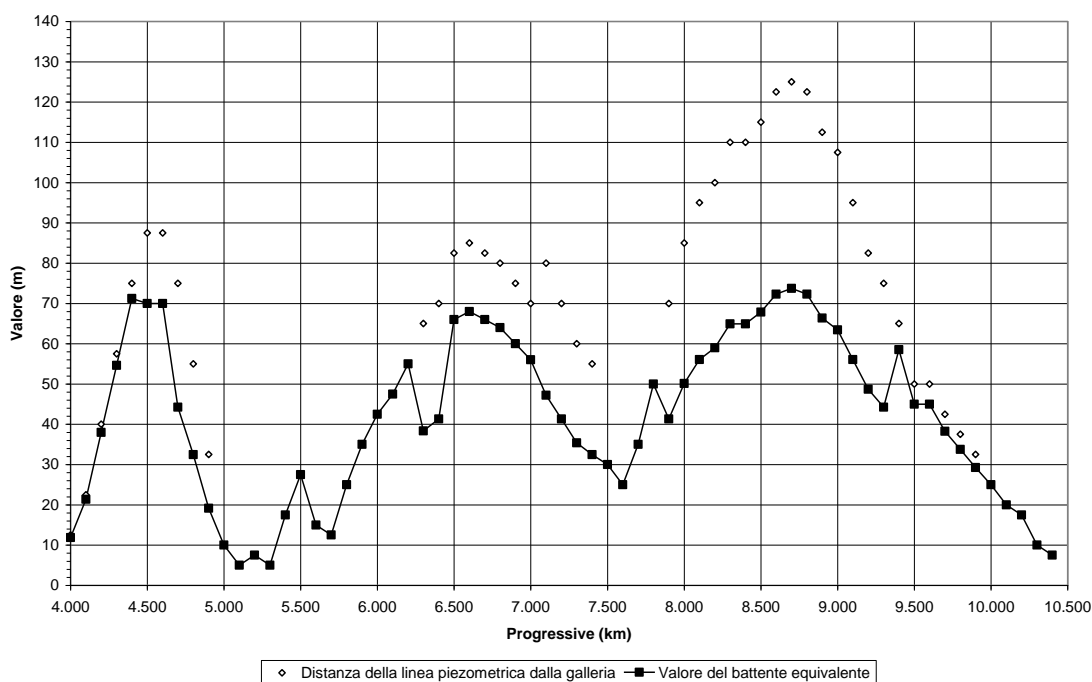


Figura 1 – Andamento del battente idraulico equivalente lungo lo sviluppo della galleria

4. RIVESTIMENTO IN CONCI PREFABBRICATI – LAYOUT GENERALE E DETTAGLI

Il “*sistema rivestimento*” di una galleria realizzata mediante scavo meccanizzato è costituito da tre elementi fondamentali:

- Conci prefabbricati;
- Connessioni;
- Guarnizioni.

Nel caso in esame si prevede la realizzazione di un rivestimento costituito da 9 conci prefabbricati, ciascuno di larghezza pari a 2,20 m. Considerando una tolleranza costruttiva fisiologica si è ipotizzato di impiegare un raggio interno di 7,15 m, al quale corrisponde un diametro interno di 14,30 m. Dal momento che lo spessore di ciascun concio è pari a 0,55 m il diametro di estradosso risulta pari a 15,40 m. Il diametro complessivo di scavo della TBM è dunque da considerare indicativamente pari a 16,00 m circa, tenendo conto di uno spessore di riempimento a tergo dei conci di 30,0 cm circa.

L’anello di rivestimento è stato progettato con la logica dell’anello di tipo “universale”, ovvero si è progettata l’inclinazione delle facce trasversali in modo da ottenere, variando spazialmente la successione degli anelli (con diverse rotazioni intorno all’asse del rivestimento), la conformazione plano-altimetrica della linea con un raggio minimo di tracciamento planimetrico pari a 600 m.

L’angolo di inclinazione delle facce è risultato pari a 0.105° (0.1165 gone); l’anello ha di conseguenza larghezza minima, all’interno della curva, di 2171.77 mm e larghezza massima di 2228.23 mm (valore in asse anello di 2200 mm).

Come detto ciascun anello è costituito da 9 conci, tutti delle medesime dimensioni (*Configurazione 9+0*), così che anche il concio di chiave presenta geometrie del tutto analoghe a quelle degli altri conci, a meno dell’inclinazione delle facce laterali, che risulta superiore per facilitare la posa in opera come ultimo concio di chiusura. La posizione del concio di chiave è posizionata a ore 9-10. Lo sviluppo medio del singolo concio risulta pari a 5.18 m circa, per un peso indicativamente di 156 KN.

Il layout dei gruppi spinta prevede 3 gruppi di spinta per ciascun concio, per un totale di 27 gruppi di spinta, ciascuno costituito da due martinetti; si hanno quindi complessivamente 54 martinetti. Ogni gruppo di spinta è disposto su un settore angolare di 14.814 gone.

Al fine di garantire la monoliticità dell’insieme, i giunti longitudinali di ciascun anello vengono sfalsati rispetto a quelli dell’anello precedente, variando la posizione del concio di chiave di un angolo prestabilito; tali giunti sono inoltre inclinati per permettere il posizionamento dei conci senza causare strisciamenti.

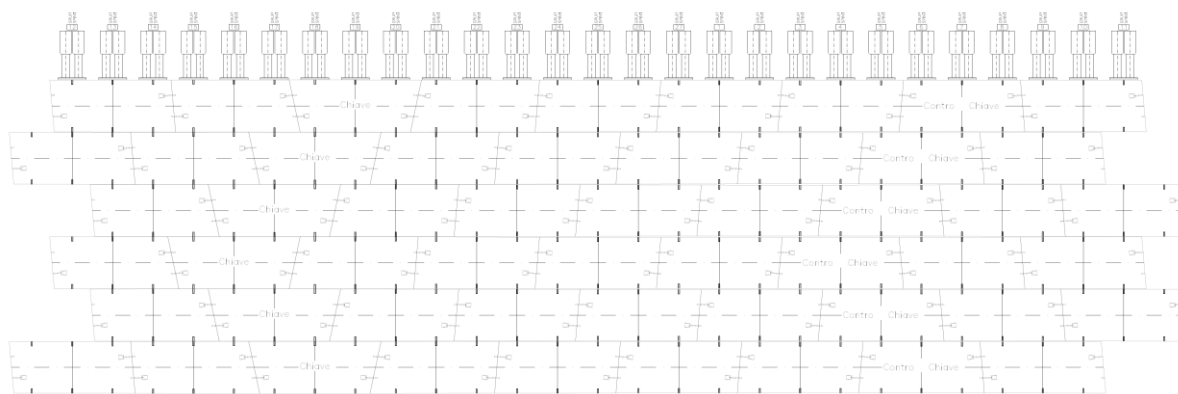


Figura 2 – Anello di rivestimento in conci – Sviluppo conci

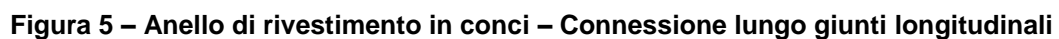
16011304 – Galleria Santa Lucia – Relazione tecnica



Per il concio di chiave, si è prevista una rotazione di 3° del giunto longitudinale ed un'inclinazione delle facce longitudinali pari a 12 gradi, così da consentire l'inserimento della chiave in presenza di una corsa dei martinetti pari a 3200 mm con gli adeguati margini di sicurezza.

Ciascun concio è collegato a quelli adiacenti (sia in direzione longitudinale che lungo lo sviluppo dell'anello) mediante appositi sistemi di connessione.

Le connessioni tra anelli di rivestimento successivi sono invece costituiti da 3 connettori longitudinali del tipo *Easy click Magnum* per ciascun concio, per un totale di 27 connettori per anello.



Il sistema di connessione, che anche in questo caso sarà posizionato in corrispondenza dell'asse del rivestimento, sarà costituito da:

- due alloggiamenti per il serraggio ("*bussole*"), annegati nel calcestruzzo, che vengono prodotti con materiale composito resistente all'abrasione e alla corrosione; essi vengono inserite nel getto, tra i ferri di armatura e con apposita armatura di frettaggio, mediante una dima di posizionamento. All'interno di ogni alloggiamento è presente una boccola in nylon fibrato vetro la cui forma garantisce la tenuta del connettore;
- un perno di connessione prodotto in acciaio e rivestito con materiale composito (nylon fibrato vetro), inserito negli appositi alloggiamenti al momento del montaggio dei conci.
- un elemento di centraggio, costituito da una "palla" realizzata anch'essa in materiale plastico, posizionata a cavallo del giunto di collegamento.

Lungo i giunti radiali è prevista la messa in opera di una barra guida $\varnothing 50$ mm in PVC riciclato, di lunghezza pari a 80,0 cm, con la funzione di agevolare la messa in opera del concio in fase di montaggio dell'anello. Le facce esterne dei conci sono quindi opportunamente predisposte con cave sia per l'alloggiamento della barra guida, sia per facilitare il suo scorrimento entro cava in fase di montaggio.

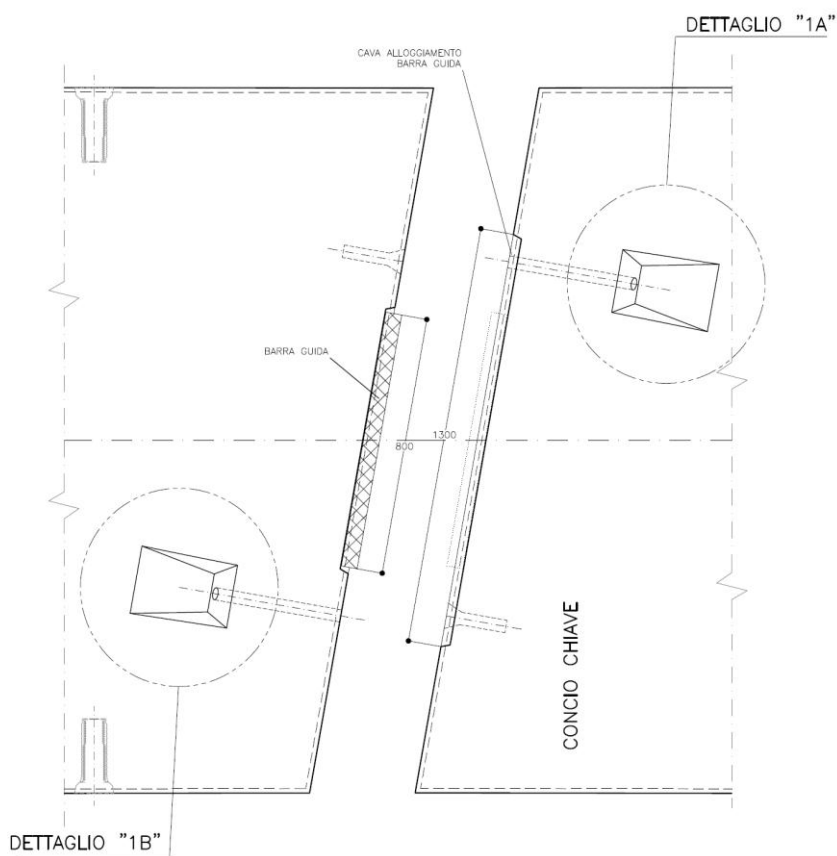


Figura 6 – Anello di rivestimento in conci – Barra guida

I conci saranno infine muniti lungo l'intero perimetro di una guarnizione in EPDM preformata in stabilimento, opportunamente sagomata in modo tale da garantirne l'ancoraggio al concio in fase di getto, al fine di garantire, in esercizio, la tenuta del rivestimento, sia idraulica sia in presenza di gas.

Ad essa si aggiungerà un ulteriore elemento di tenuta, con funzione di prima tenuta lungo il bordo esterno del conco.

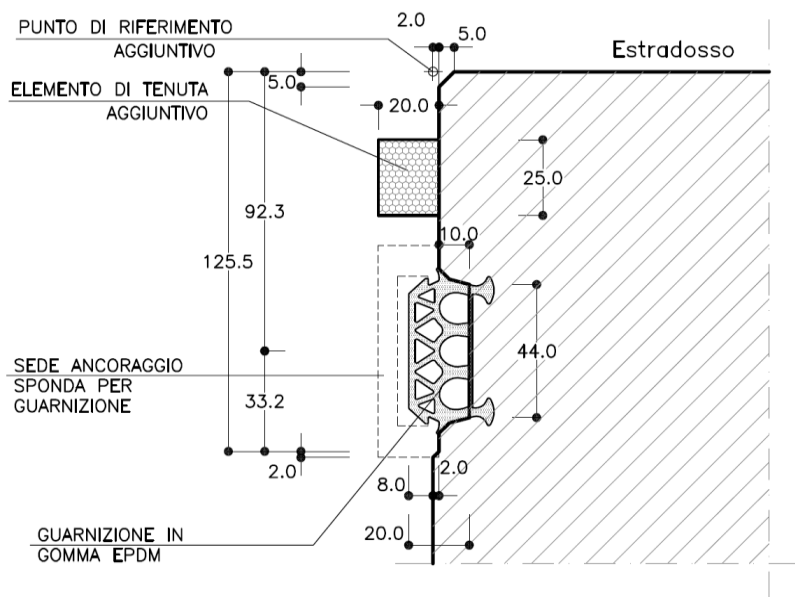


Figura 7 – Anello di rivestimento in conci – Sistema di tenuta idraulica

In corrispondenza dei giunti, sia anulari che radiali, si è prevista inoltre la sbeccatura delle estremità dei conci, di dimensioni pari a 5-8 mm, e il distacco della superficie di contatto tra conci adiacenti per lunghezze di 35-45 mm circa, onde evitare concentrazioni di sforzo in corrispondenza delle superfici di estradosso ed intradosso. In corrispondenza dei giunti radiali il distacco è posto pari a 100 mm.

Da ultimo, dal momento che la movimentazione dei conci e la loro posa in opera nell'anello di rivestimento avverrà mediante erettore con sistema di presa "vacuum", in asse a ciascun conco sono predisposti due fori di presa per assicurare il centraggio del sistema di movimentazione. Saranno presenti inoltre puntatori laser per il corretto posizionamento del conco ed una apposito indicatore per il riconoscimento del conco di chiave.

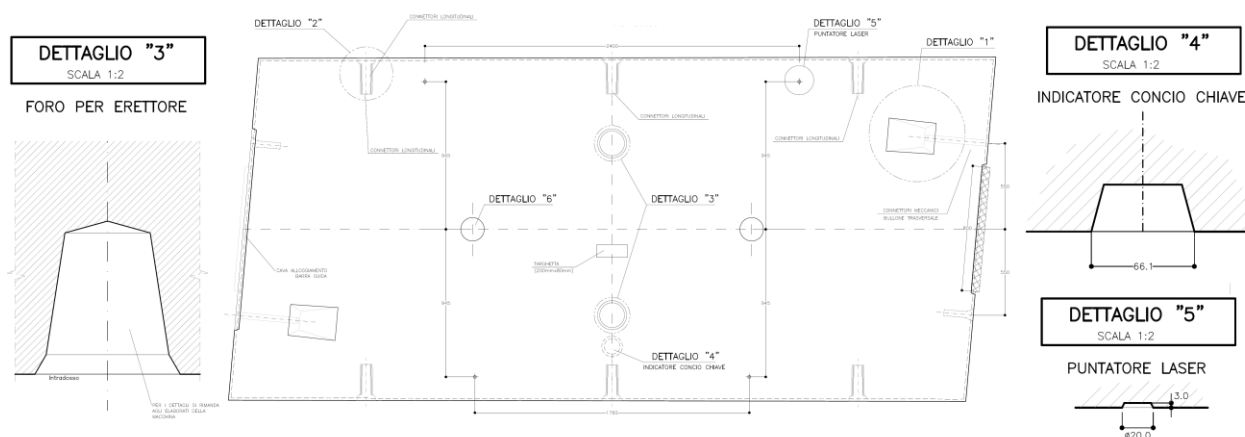


Figura 8 – Anello di rivestimento in conci – Foro per erettore, puntatore laser e indicatore conco chiave

5. DEFINIZIONE DELLE ARMATURE – EQUIVALENZA STATICA CON LA SOLUZIONE DI P.E.

L'armatura dei conci nella nuova configurazione 9+0, che prevede una larghezza pari a 2,20 m, è stata definita per equivalenza con quella definita in fase di Progetto Esecutivo, dove era previsto un anello costituito da 9+1 conci di larghezza pari a 2,0 m.

Come sintetizzato nella tabella seguente, in funzione delle caratteristiche dell'ammasso attraversato, il progetto prevedeva la posa in opera di due diverse tipologie di conci, caratterizzati da diverse tipologie di armatura e caratteristiche di resistenza del calcestruzzo.

| CONCIO | CLS | ARMATURA |
|---------------|--------|--|
| Concio tipo 1 | C40/50 | 18Ø14 (intradosso) 20Ø14 (estradosso) |
| Concio tipo 2 | C35/45 | 18Ø12 (intradosso) 20Ø12 (estradosso) |

Tabella 2 – Conci prefabbricati – Soluzione di P.E.

Mantenendo lo stesso approccio, nella configurazione 9+0 si sono definite due tipologie di conci con un'armatura tale da garantire lo stesso numero di barre per metro lineare, come sintetizzato nella seguente Tabella 3.

| CONCIO | CLS | ARMATURA |
|---------------|--------|---|
| Concio tipo 1 | C40/50 | 20Ø14 (intradosso) (barre marca (2)e (8)) 22Ø14 (estradosso) (barre marca (1)) |
| Concio tipo 2 | C35/45 | 20Ø12 (intradosso) (barre marca (2)e (8)) 22Ø12 (estradosso) (barre marca (1)) |

Tabella 3 – Conci prefabbricati – Configurazione 9+0

Per l'applicazione delle due tipologie di concio si rimanda al "Profilo geomeccanico" di Progetto Esecutivo (documenti TUN 2015 e TUN 2016) come pure si rimanda alla "Relazione di calcolo", documento TUN 2019, per il dimensionamento e le verifiche strutturali dell'anello di rivestimento.

Nei paragrafi seguenti si riportano le verifiche locali legate alle fasi di spinta dei martinetti, che risultano invece modificate alla luce della nuova configurazione dell'anello.

5.1. Verifica dei conci in fase di spinta

Per l'analisi dello stato tensionale dei conci in seguito alla spinta dei martinetti è stato realizzato un apposito modello matematico agli elementi finiti (F.E.M.), studiato per riprodurre in modo adeguato la geometria della struttura.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata eseguita con il metodo degli spostamenti, per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici, metodo che si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z) e la soluzione del problema stesso si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi $K \cdot u = F$ (dove K = matrice di rigidezza, u = vettore spostamenti nodali, F = vettore forze nodali).

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il codice di calcolo adottato è SAP2000 prodotto dalla COMPUTERS AND STRUCTURES Inc. Berkeley, CA, USA.

La struttura è stata schematizzata mediante elementi di piastra (elementi "shell"), riportati con il loro reale spessore in modo da essere caratterizzati dall'esatta rigidezza, collegati fra loro in serie. In particolare si è considerato un modello costituito da 1188 elementi di piastra (SHELL) e 1265 nodi (JOINTS). A tutti gli elementi è stato attribuito uno spessore costante pari a 0,55 m.

Ciascun elemento misura 10 cm di altezza e 10 cm di larghezza, in modo tale da ottenere per la struttura un'estensione longitudinale di 2,2 m ed una larghezza di 5,18 m, che coincide con lo sviluppo della linea media del concio (nell'analisi si è fatto riferimento al concio tipo C).

A meno di piccole approssimazioni, il carico è stato applicato in corrispondenza della scarpa dei martinetti, come illustrato nella figura seguente.

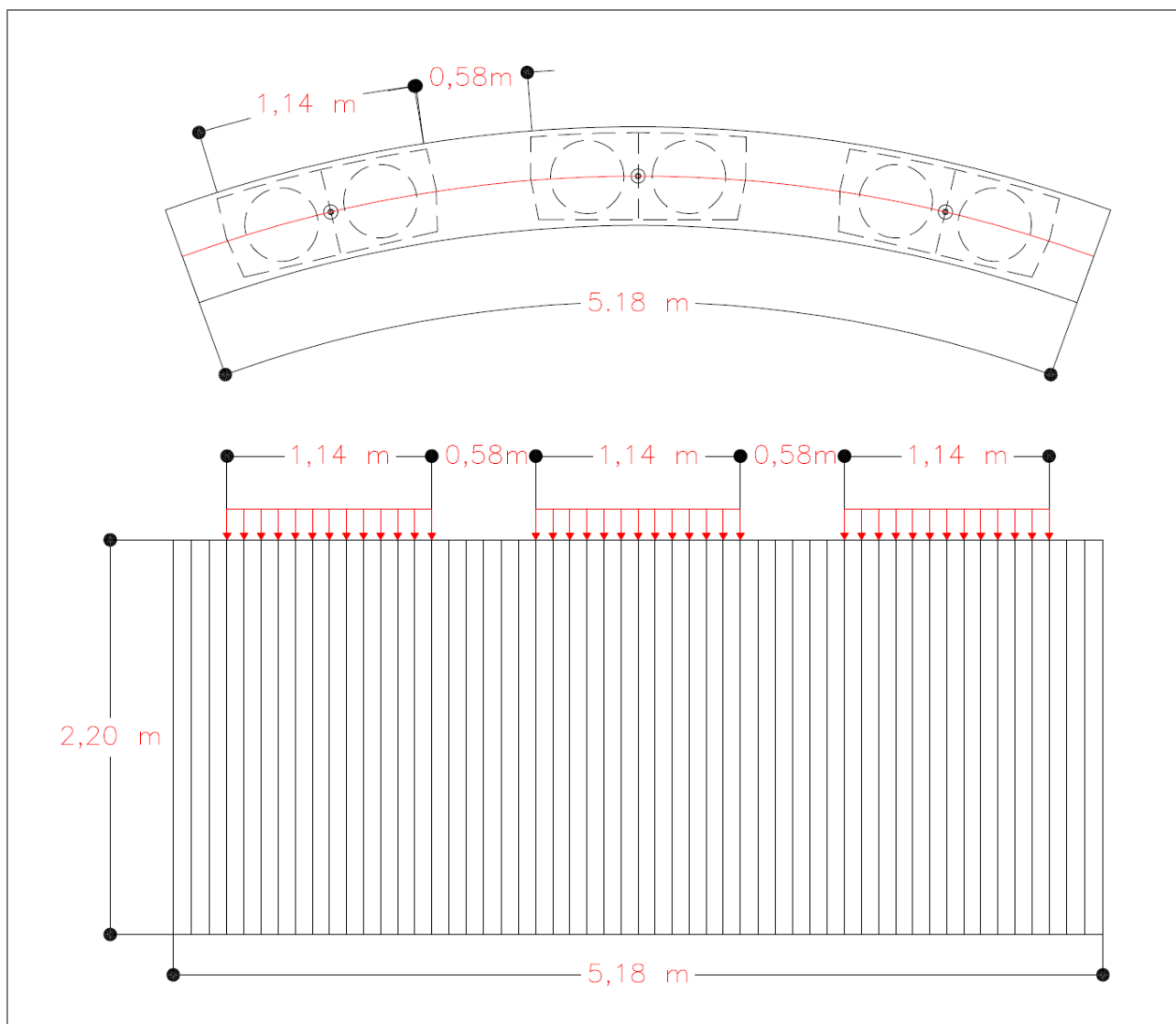


Figura 9 – Modello di calcolo

Il contrasto fornito dagli anelli retrostanti è stato simulato introducendo in corrispondenza di ciascun nodo alla base del modello una molla di adeguata rigidità.

Le verifiche sono state condotte con riferimento al concio tipo 1, che risulta soggetto alle spinte maggiori, ma potranno essere estese anche al concio tipo 2, che presenta la stessa armatura di rinforzo.

Le analisi sono state effettuate con riferimento a 3 differenti configurazioni:

- **MODELLO_1** – Si è considerato il concio caricato simmetricamente in condizioni di spinta massima (pari a circa 361000 KN). Dal momento che la macchina prevede l'utilizzo di 27 gruppi di spinta, si è applicato un carico di 13370 KN per ciascun gruppo di spinta, opportunamente distribuito sull'impronta della scarpa dei martinetti. L'appoggio sugli anelli retrostanti si è considerato uniforme, attribuendo la stessa rigidità a tutte le molle ($k=600000 \text{ KN/m}^3$);

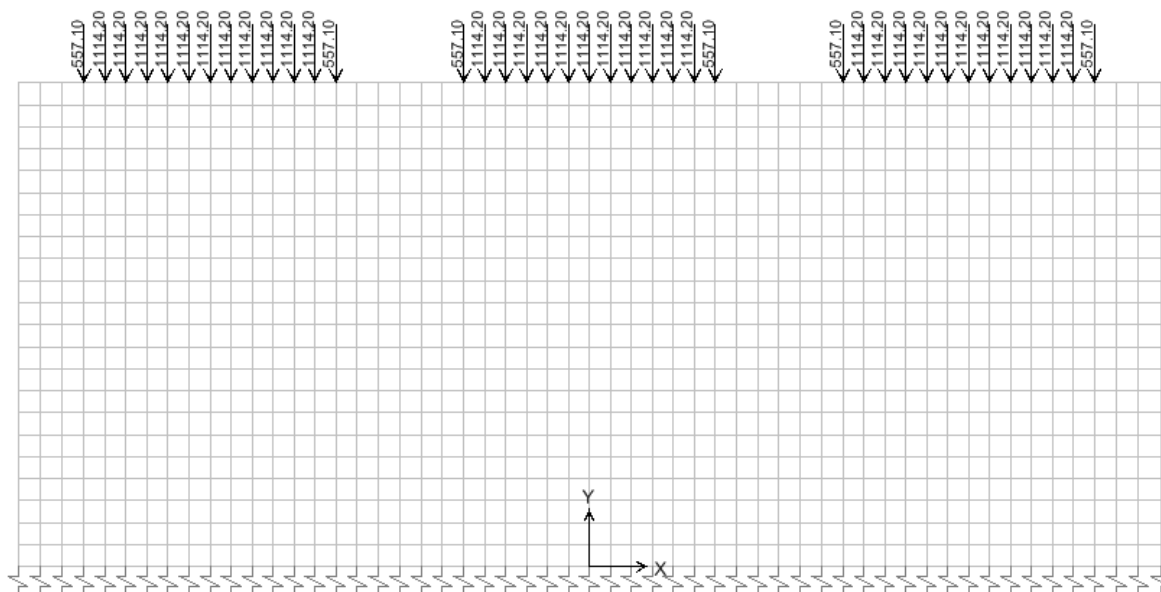


Figura 10 – MODELLO_1

- **MODELLO_2** – Si è considerato il concio caricato simmetricamente in condizioni di spinta massima. Per simulare eventuali difformità nell'appoggio sui concii retrostanti si è attribuita alle molle della porzione di destra del modello una rigidezza ridotta del 50% ($k=300000 \text{ KN/m}^3$);

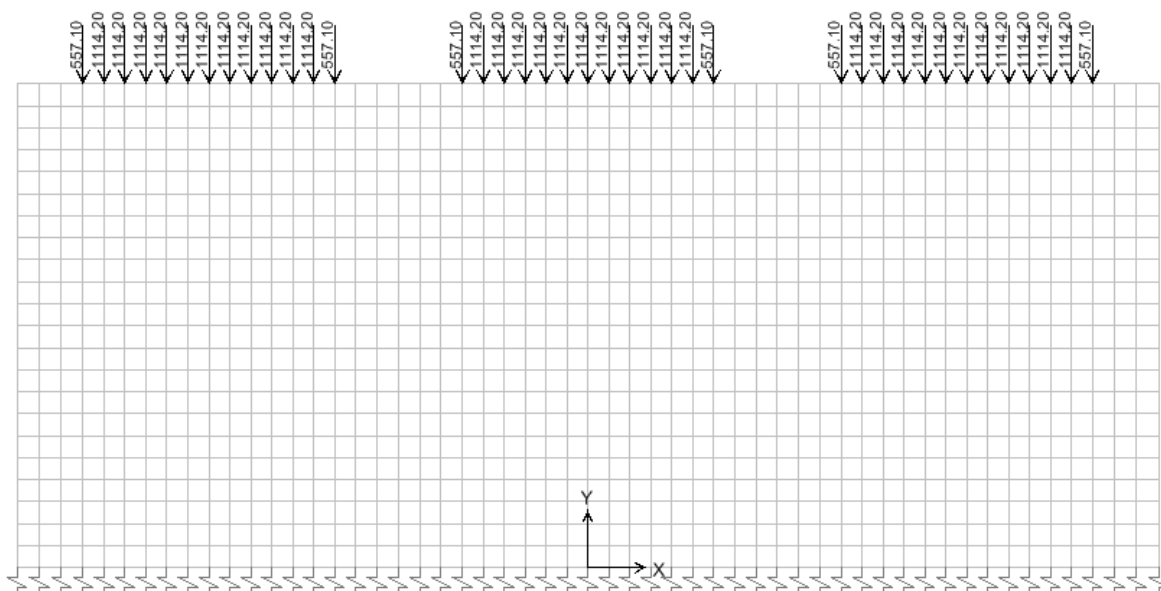


Figura 11 – MODELLO_2

- **MODELLO_3** – Si è considerata la possibilità che il concio venga caricato dissimmetricamente applicando in corrispondenza del gruppo di spinta di destra un carico ridotto del 50 %, pari 6685 kN, e di quello centrale un carico ridotto del 75%, pari a 10028 kN. Nel lato di sinistra è stata mantenuta invece un'intensità di spinta

pari a 13370 kN. L'appoggio sugli anelli retrostanti si è considerato uniforme, attribuendo la stessa rigidezza a tutte le molle ($k=600000 \text{ KN/m}^3$);

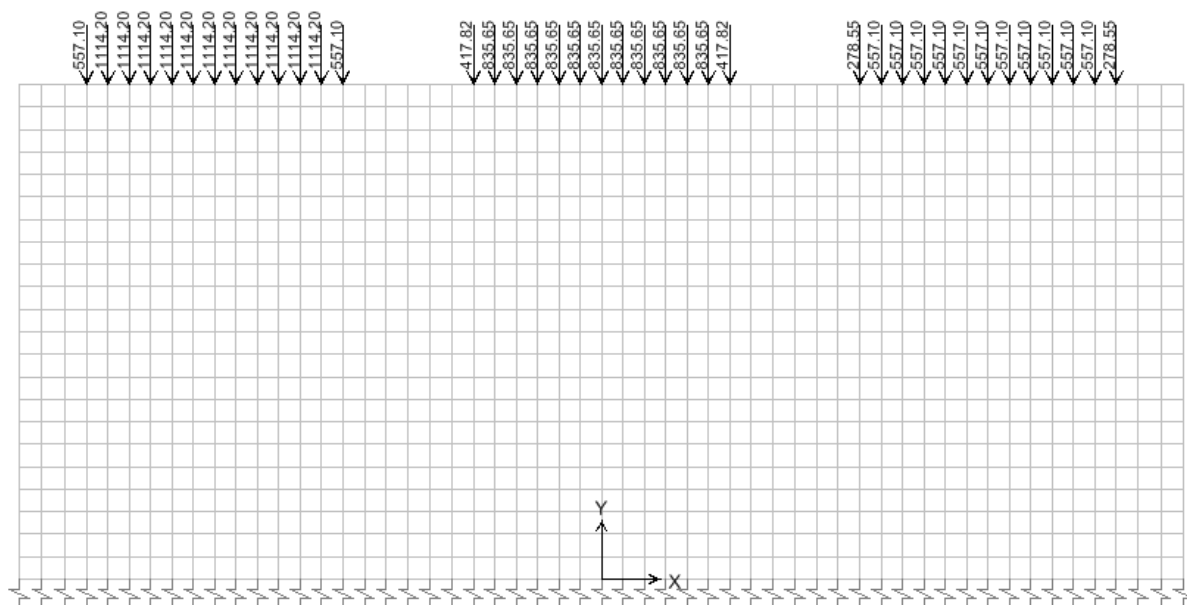


Figura 12 – MODELLO_3

5.1.1. Modello 1

Si riportano nel seguito alcune considerazioni sul comportamento del concio nella configurazione di carico 1.

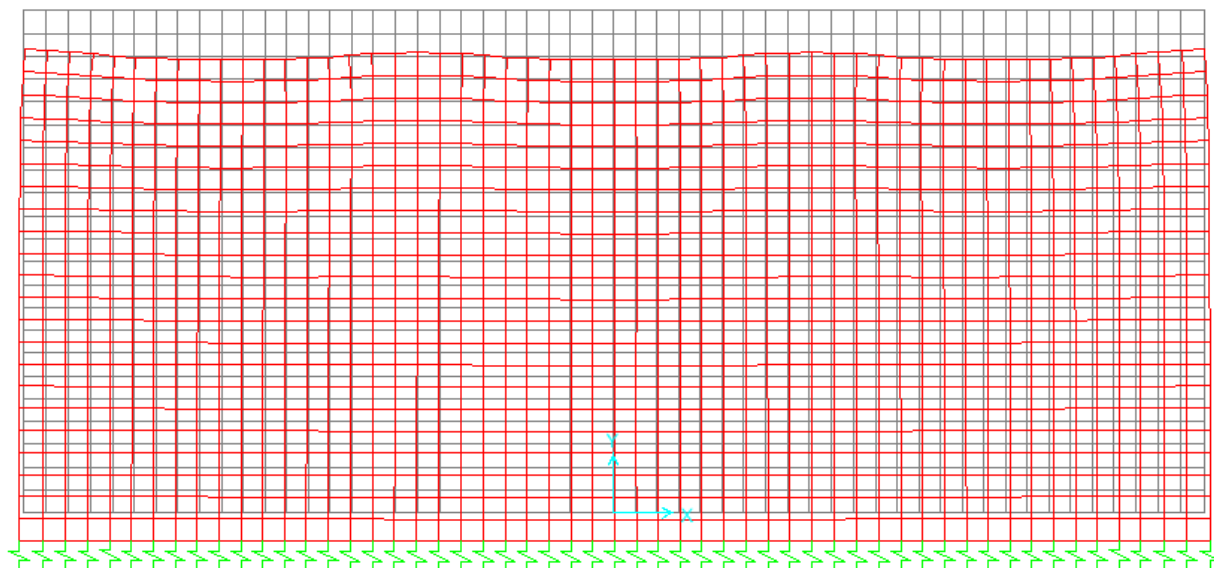


Figura 13 – MODELLO_1 – Deformata

Come si può osservare la deformata risulta ovviamente simmetrica, evidenziando una contrazione al di sotto delle scarpe dei martinetti e, per contrasto, un'estensione delle fibre nell'area compresa tra esse.

L'andamento delle forze in direzione x (F11) evidenzia una forte compressione al di sotto dei martinetti ed una trazione nelle zone del concio comprese fra di essi, che si esaurisce in uno spazio di circa 20,0 cm.

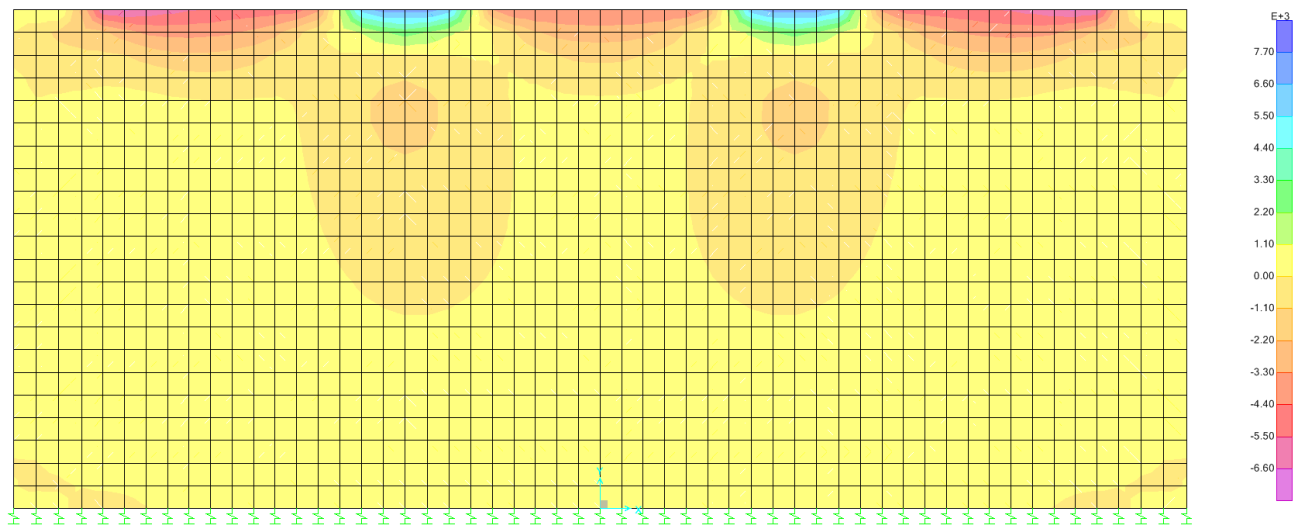


Figura 14 – MODELLO_1 – Forze F11

La porzione inferiore del concio risulta interamente soggetta a trazione, con valori maggiori nella zona sottostante ai martinetti di spinta. Nella figure seguenti si riporta l'andamento delle forze in direzione x nelle due sezioni A (mezzzeria del concio) e B (in corrispondenza della porzione di concio compresa tra due martinetti di spinta). Con segno positivo sono indicate le forze di trazione.

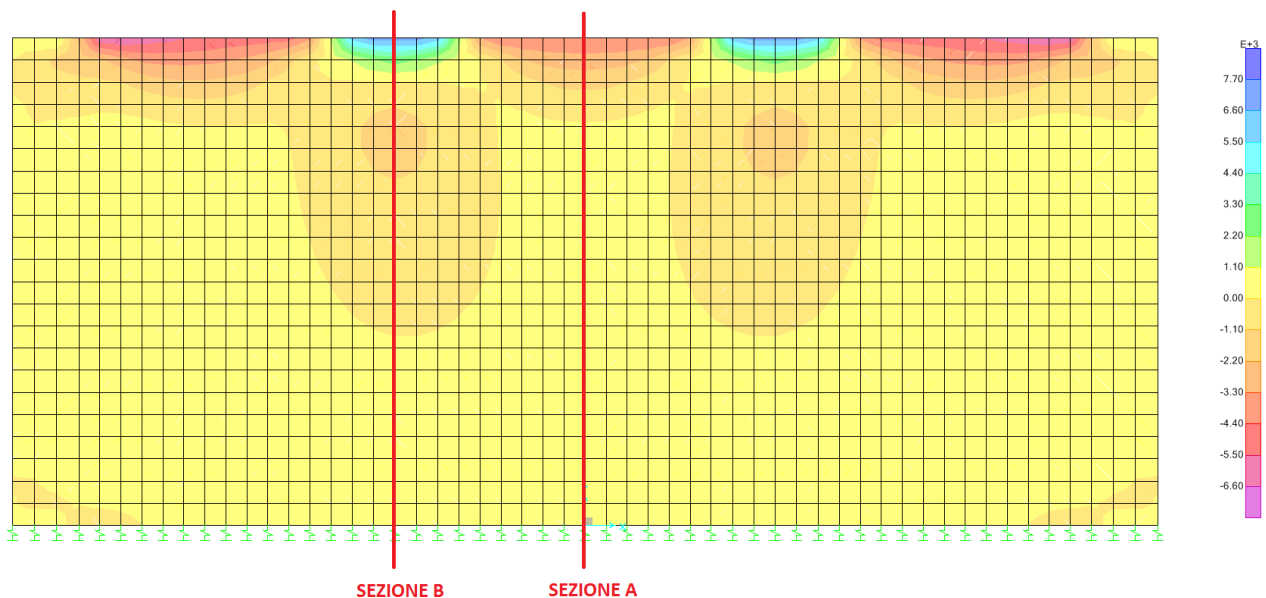




Figura 15 – MODELLO_1 – Forze F11 – Sezione A



Figura 16 – MODELLO_1 – Forze F11 – Sezione B

Integrando le forze di trazione lato spinta, che come appena detto si esauriscono ad una distanza di 20 cm circa dal lembo esterno, si ottiene una risultante pari a circa 635 KN.

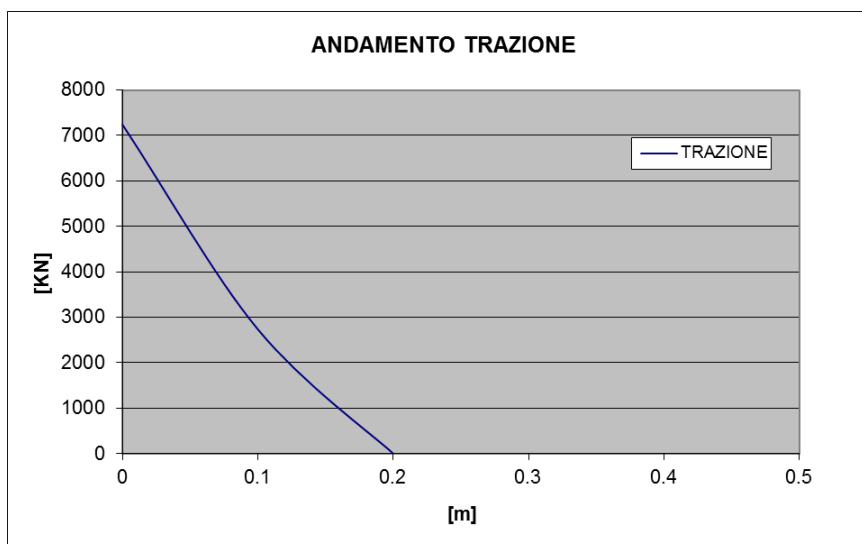


Figura 17 – MODELLO_1 – Andamento trazioni lato spinta

Lato conci le forze di trazione hanno un andamento più uniforme. L'integrale delle forze, nel tratto più sollecitato al di sotto dei martinetti, determina una risultante pari a circa 200 KN nei primi 50 cm a partire dal lembo esterno.

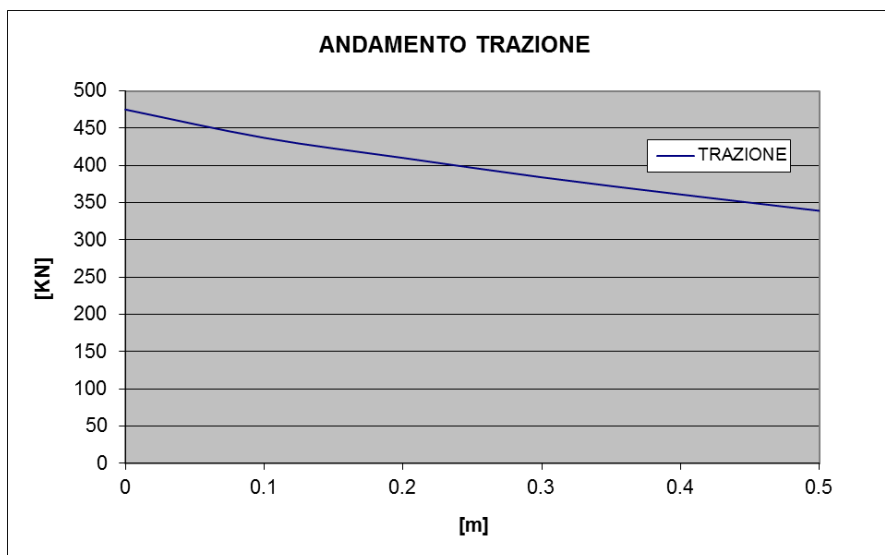


Figura 18 – MODELLO_1 – Andamento trazioni lato conci

Per quanto riguarda la porzione centrale del concio la trazione passa da un massimo di circa 920 KN/m ad un minimo di 370 KN/m nello spazio di circa 1,10m.

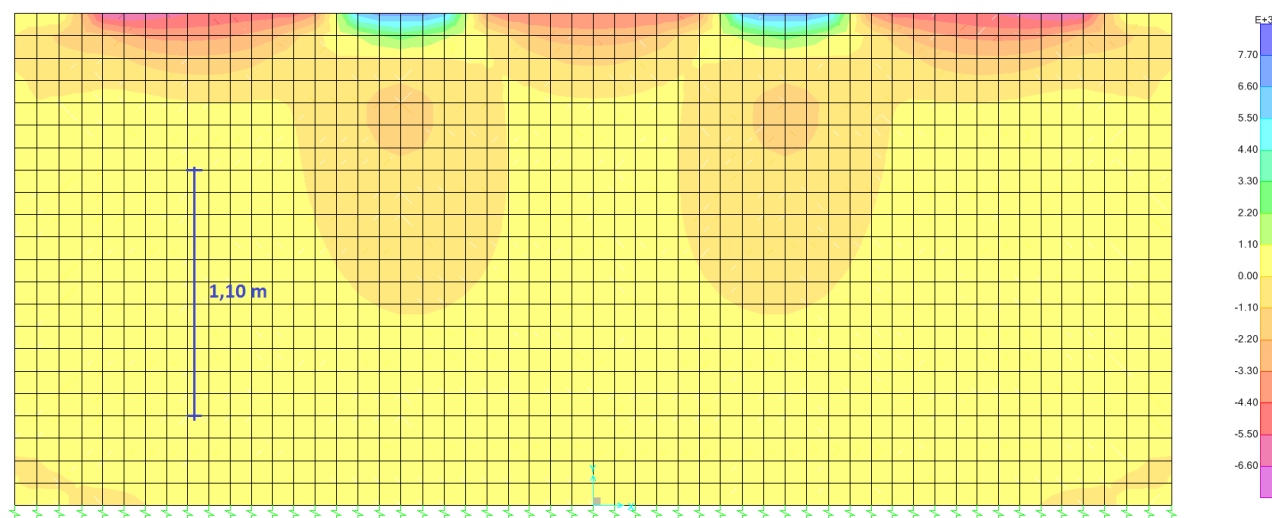


Figura 19 – MODELLO_1 – Andamento trazioni nella porzione centrale del concio

5.1.2. Modello 2

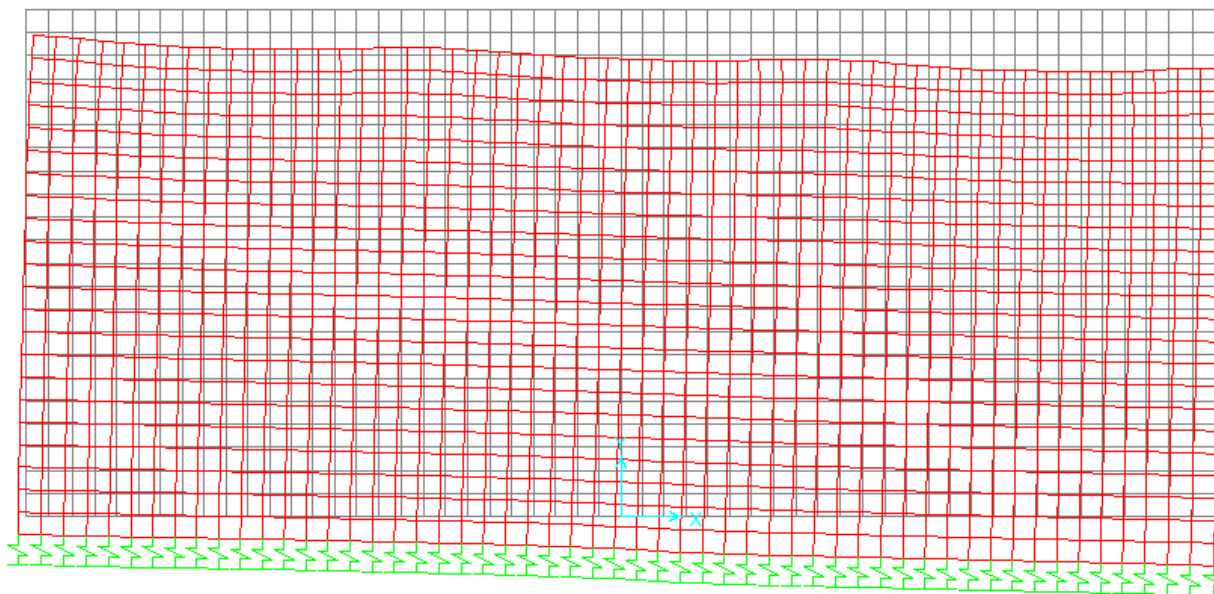


Figura 20 – MODELLO_2 – Deformata

Nel modello 2 la deformata risulta ovviamente sbilanciata dal lato in cui si ha un vincolo più cedevole.

L'andamento delle forze in direzione x (F11) è simile a quello del caso precedente, con un'estensione delle trazioni nel lato in cui l'appoggio risulta più rigido e, per contrasto, un aumento delle compressioni dall'altro lato.

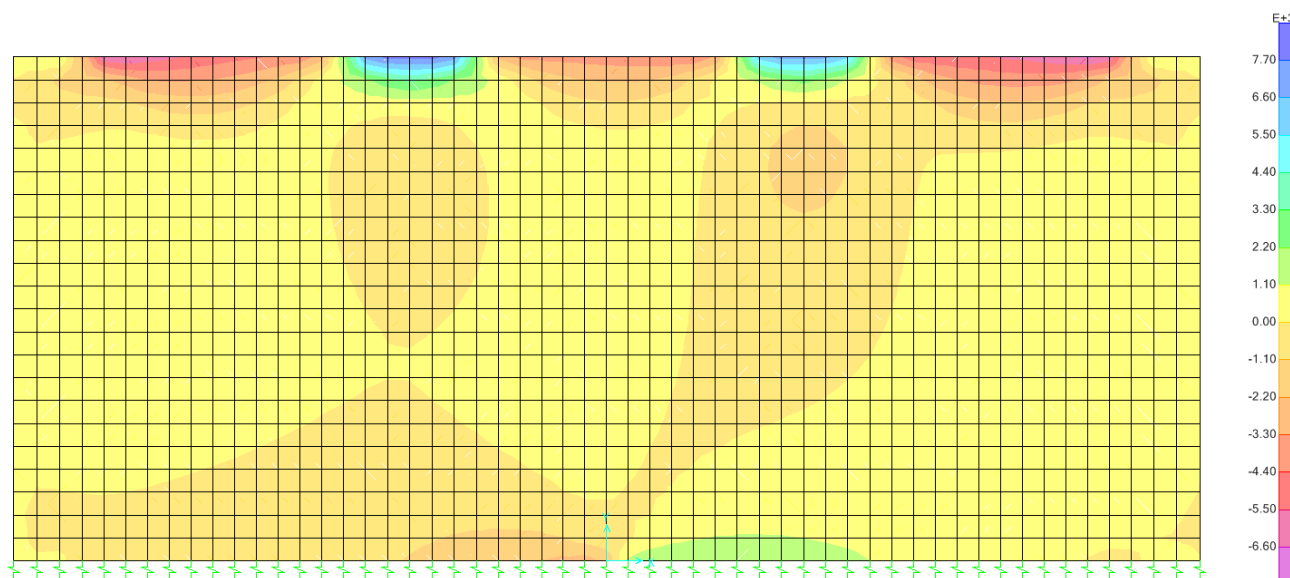


Figura 21 – MODELLO_2 – F11

La porzione inferiore del concio risulta ancora interamente soggetta a trazione (ad eccezione di una zona limitata in corrispondenza del cambio di rigidità dei vincoli d'appoggio) con valori maggiori nella zona sottostante al martinetto di spinta destro. Nella figura seguente si riporta l'andamento delle forze in direzione x nelle due sezioni in

corrispondenza della porzione di concio compresa tra due martinetti di spinta, poste rispettivamente lato spinta (sezione A) e lato conci (sezione B). Con segno positivo sono indicate le forze di trazione.

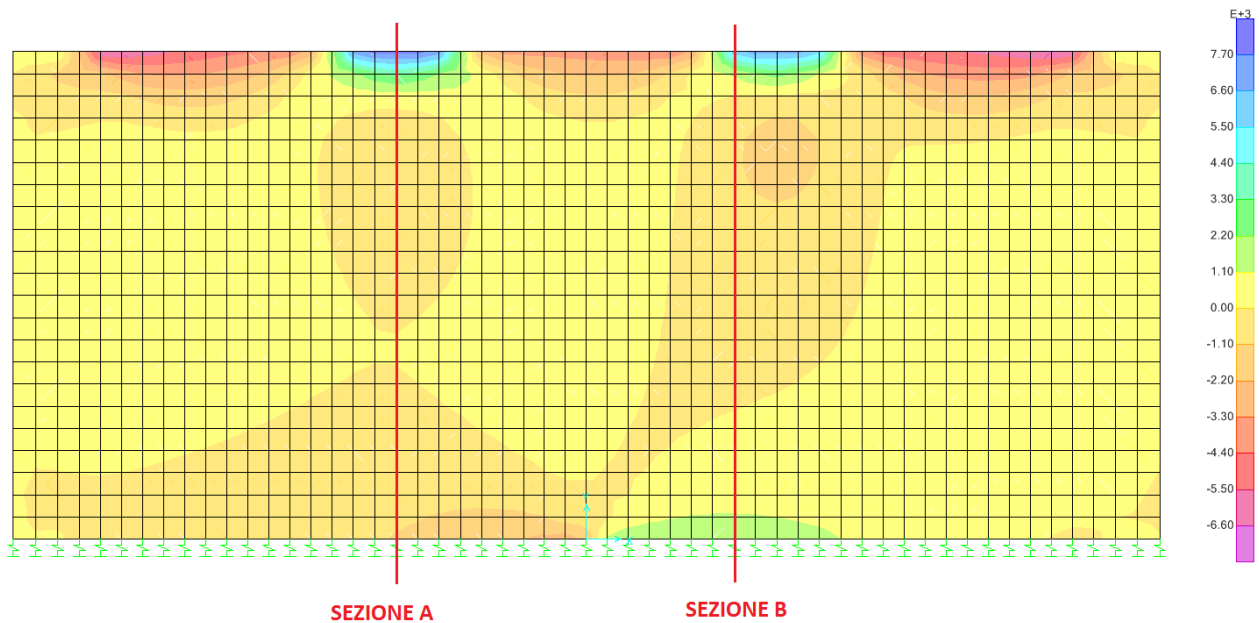


Figura 22 - MODELLO_2 – Forze F11 – Sezione A



Figura 23 - MODELLO_2 – Forze F11 – Sezione B

Integrando le forze di trazione lato spinta, che anche in questo caso si esauriscono ad una distanza di 20 cm circa dal lembo esterno, si ottiene una risultante pari a circa 767 KN.

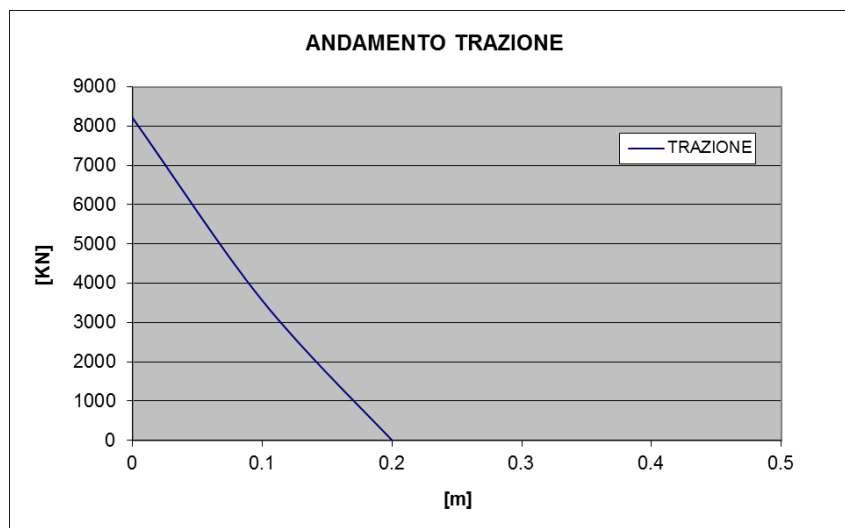


Figura 24 – MODELLO_2 – Andamento trazioni lato spinta

Lato conci si ha un aumento delle trazioni. L'integrale delle forze, nel tratto più sollecitato determina una risultante pari a circa 331 KN nei primi 50 cm a partire dal lembo esterno.

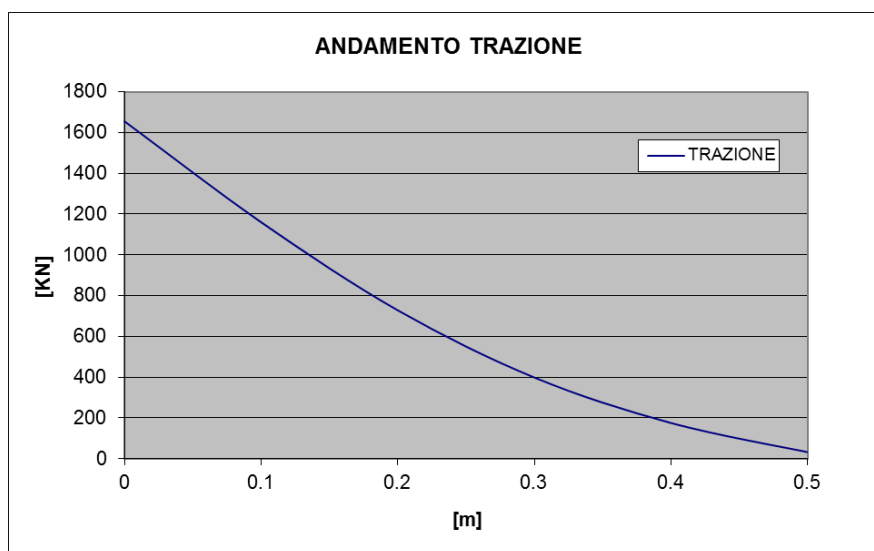


Figura 25 – MODELLO_2 – Andamento trazioni lato conci

Per quanto riguarda la porzione centrale nella parte sinistra la trazione passa da un massimo di circa 1100 KN/m ad un minimo di 290 KN/m nello spazio di circa 1,10m, mentre in quella destra raggiunge valori massimi di circa 800 ÷ 850 KN/m.

5.1.3. Modello 3

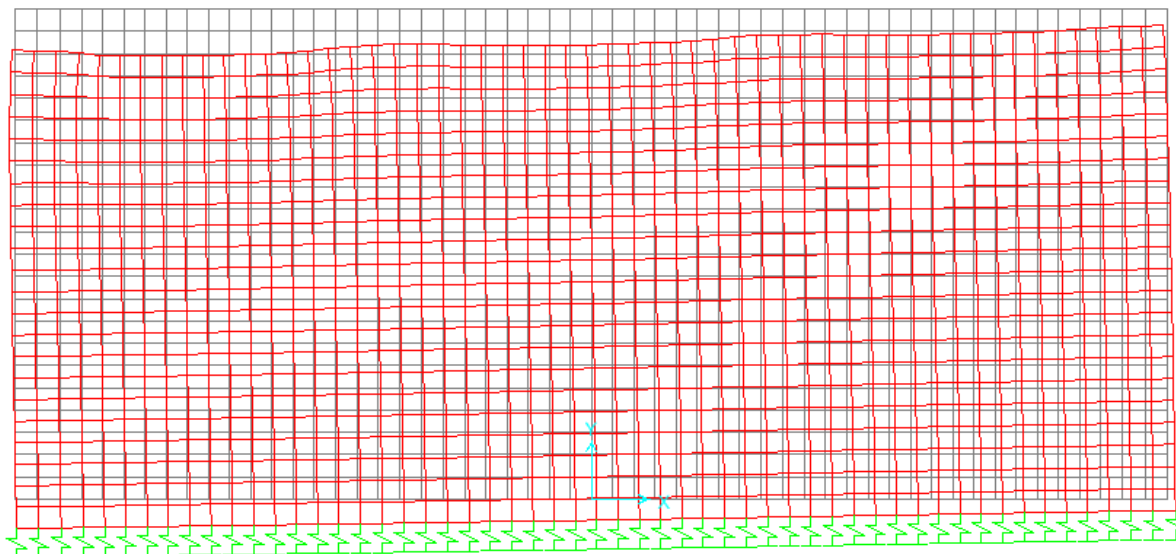


Figura 26 – MODELLO_3 – Deformata

Nel modello 3 la deformata risulta ovviamente sbilanciata dal lato in cui si ha una spinta maggiore.

L'andamento delle forze in direzione x (F_{11}) è simile a quello del caso precedente, denotando nuovamente un'estensione delle trazioni verso il martinetto con spinta minore e, per contrasto, un aumento delle compressioni dall'altro lato.

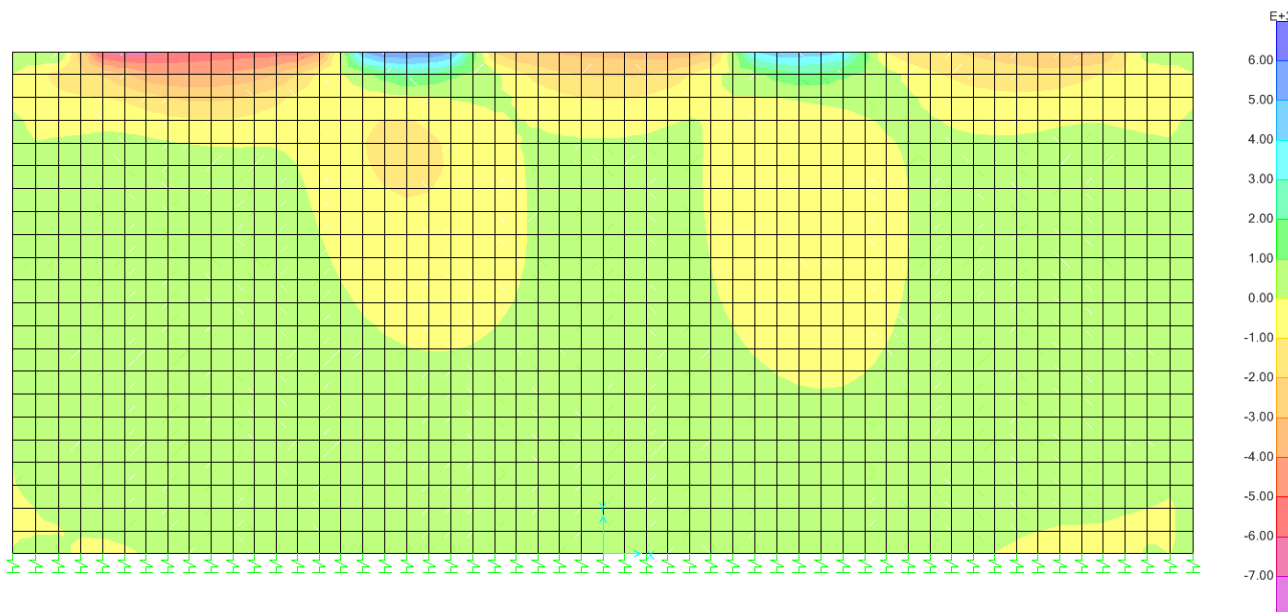


Figura 27 – MODELLO_3 – Forze F_{11}

Le trazioni risultano in generale più ridotte rispetto ai due casi precedenti, evidenziando però un aumento delle trazioni nella porzione centrale del concio (lato martinetto con spinta maggiore) laddove si ha un'estensione di forze di trazione con valore superiore a 900 KN/m fino ad una distanza di 80,0 ÷ 85,0 cm dalla zona di contatto con i martinetti di spinta.

5.1.4. Verifiche statiche

Si riportano di seguito le verifiche statiche condotte sulla base dei dati ottenuti dalle analisi numeriche per valutare l'idoneità delle soluzioni proposte per contrastare il fenomeno di apertura delle fessure in fase di spinta.

Le caratteristiche dei materiali utilizzati sono:

- Calcestruzzo C40/50
 - $R_{ck} = 50 \text{ MPa}$;
 - $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$;
 - $f_{ctm} = 3,66 \text{ MPa}$
- Acciaio B450C
 - $E_s = 210000 \text{ MPa}$;
 - $f_{tk} = 540 \text{ MPa}$
 - $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$;

Come riportato nella figura seguente, sul lato della spinta, per i primi 20,0 cm, l'armatura risulta costituita da 4 barre $\varnothing 14$ e 8 barre $\varnothing 20$.

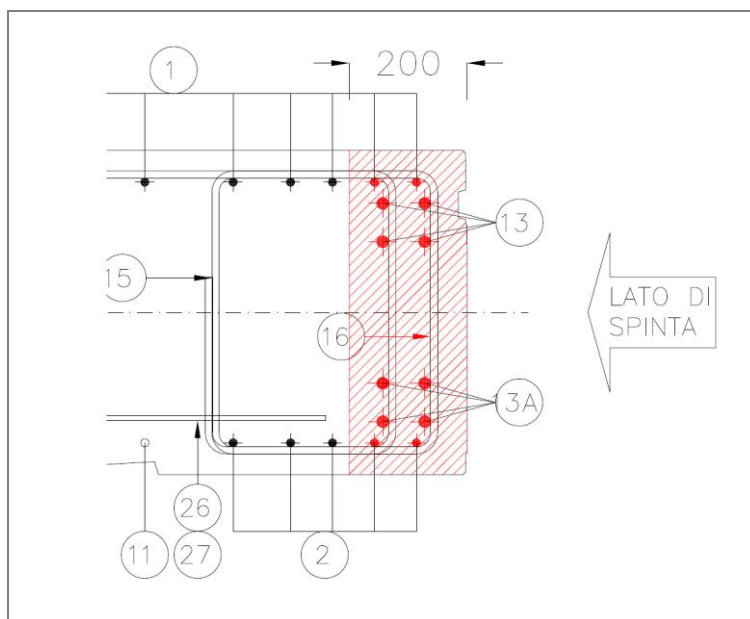


Figura 28 – Armatura lato spinta

La condizione di carico più gravosa risulta quella relativa al Modello 2, a cui corrisponde una risultante di trazione di circa 767 kN.

Si ottiene quindi una tensione massima nelle barre pari a

$$\sigma_s = 245 \text{ MPa}$$

a cui corrisponde un'apertura delle fessure pari a

$$w_k = 0,277 \text{ mm}$$

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--|
| b [mm] | a [mm] | E _s [N/mm ²] | R _{ck} [N/mm ²] | m | F _I [mm ²] | | | | |
| 200 | 550 | 210000 | 50 | 6.7 | 3128 | | | | |
| c [mm] | i [mm] | k ₂ | k ₃ | φ [mm] | F _{eff} [mm ²] | ρ _r | β ₁ | β ₂ | |
| 53 | 91 | 0.4 | 0.125 | 14 | 110000 | 0.028 | 1 | 1 | |
| <14 φ | | | | | | | | | |
| σ _t [N/mm ²] | σ _{fr} [N/mm ²] | s _{rm} [mm] | ε _{fm} | w _k [mm] | | | | | |
| 245 | 60.13 | 149 | 0.001096 | 0.277 | | | | | |

Figura 29 – Verifica a fessurazione lato spinta

Sul lato opposto del concio, a contatto con gli anelli retrostanti, per i primi 50,0 cm, l'armatura risulta costituita da 10 barre Ø 14 e 4 barre Ø 22, disposte come indicato nella figura seguente.

La condizione di carico più gravosa risulta ancora quella relativa al Modello 2, a cui corrisponde una risultante di trazione di circa 331 KN.

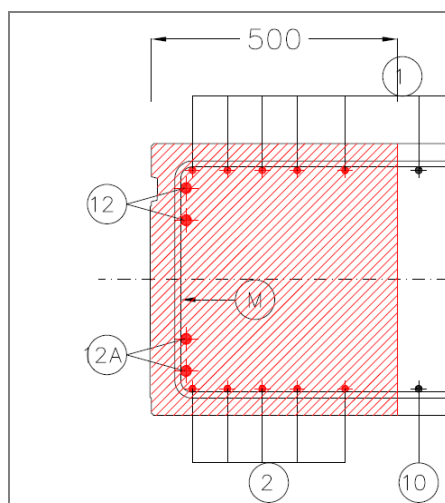


Figura 30 – Armatura lato concio

Si ottiene quindi una tensione nelle barre pari a

$$\sigma_s = 108 \text{ MPa}$$

a cui corrisponde un'apertura delle fessure pari a

$$w_k = 0,074 \text{ mm}$$

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--|
| b [mm] | a [mm] | E _s [N/mm ²] | R _{ck} [N/mm ²] | m | F _I [mm ²] | | | | |
| 500 | 550 | 210000 | 50 | 6.7 | 3060 | | | | |
| c [mm] | i [mm] | k ₂ | k ₃ | φ [mm] | F _{eff} [mm ²] | ρ _r | β ₁ | β ₂ | |
| 53 | 91 | 0.4 | 0.176 | 14 | 275000 | 0.011 | 1 | 1 | |
| <14 φ | | | | | | | | | |
| σ _t [N/mm ²] | σ _{fr} [N/mm ²] | s _{rm} [mm] | ε _{fm} | w _k [mm] | | | | | |
| 108 | 132 | 213 | 0.000206 | 0.074 | | | | | |

Figura 31 – Verifica a fessurazione lato concio

Per quanto riguarda infine la porzione centrale del concio, la verifica è stata effettuata considerando la trazione agente su 1,1 m di concio. Come si può osservare nel grafico riportato di seguito, la condizione di carico più gravosa risulta quella relativa al Modello 2, per la quale si ottiene una risultante di circa 854 kN.

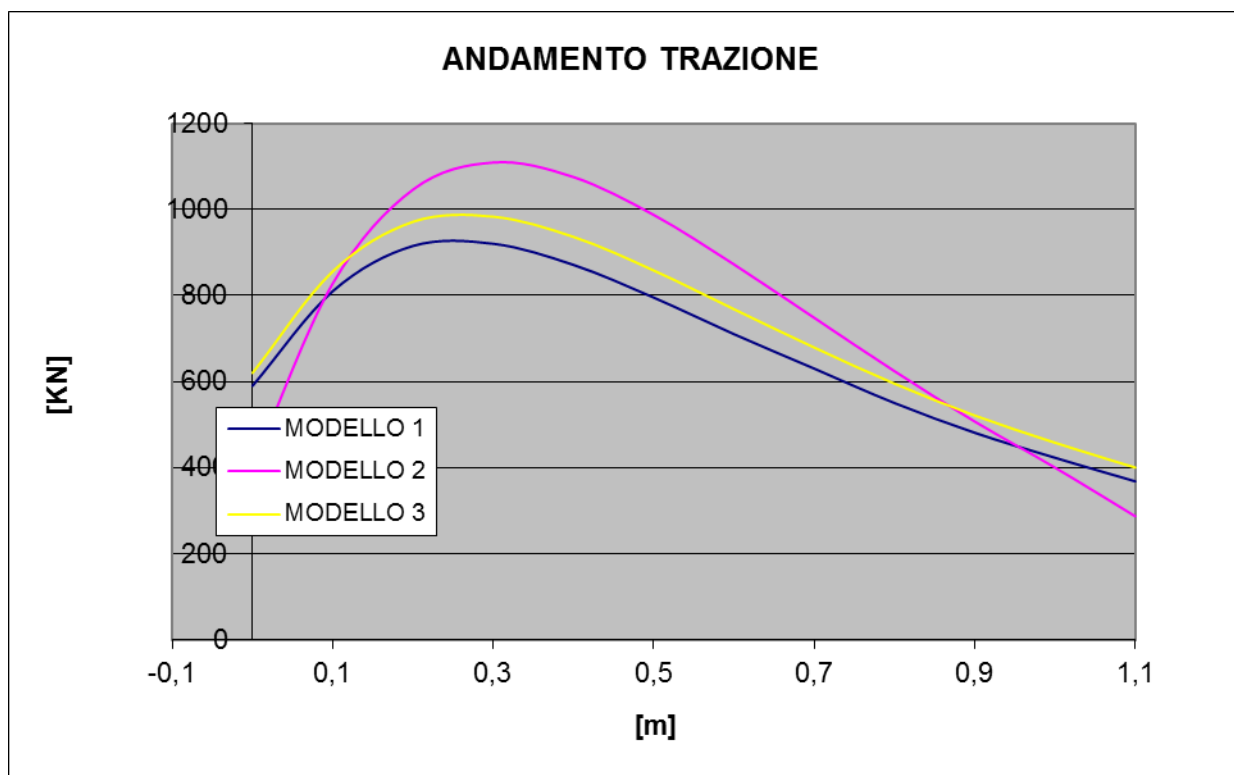


Figura 32 – Andamento trazione nella porzione centrale del concio

Considerando un'armatura costituita da 10+10 barre Ø 14 si ottiene quindi una tensione pari a

$$\sigma_s = 278 \text{ MPa}$$

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--|
| b [mm] | a [mm] | E _s [N/mm ²] | R _{ck} [N/mm ²] | m | F _t [mm ²] | | | | |
| 1100 | 550 | 210000 | 50 | 6,7 | 3078 | | | | |
| c [mm] | i [mm] | k ₂ | k ₃ | φ [mm] | F _{ceff} [mm ²] | ρ _r | β ₁ | β ₂ | |
| 47 | 122 | 0,4 | 0,1573 | 14 | 334400 | 0,009 | 1 | 1 | |
| <14 φ | | | | | | | | | |
| σ _t [N/mm ²] | σ _{fr} [N/mm ²] | s _{rm} [mm] | ε _{fm} | w _k [mm] | | | | | |
| 278 | 559,8 | 214 | 0,000530 | 0,193 | | | | | |

Figura 33 – Verifica a fessurazione porzione centrale del concio

Come si può osservare l'armatura prevista garantisce, anche nelle condizioni di spinta massima, il mantenimento di valori di apertura delle fessure piuttosto limitati, nell'intorno del limite ammissibile pari a 0,30 mm.

E' opportuno sottolineare che, vista l'entità delle forze in gioco, si ritiene inevitabile che in fase di spinta si possa assistere all'apertura di fessure sulla superficie dei conci. Il mantenimento della tensione delle barre in campo elastico favorirà comunque la chiusura delle fessure una volta conclusa la fase di spinta (si tenga conto che tale azione non

tornerà più nella vita del concio, che in fase di esercizio lavorerà per lo più a compressione).

In ogni caso al termine dello scavo si dovrà predisporre un adeguato intervento di sigillatura laddove necessario.

5.1.5. Verifica dell'armatura di frettaggio

Alle situazioni transitorie appena analizzate deve essere affiancata un'ulteriore verifica relativa alle sollecitazioni provocate nei conci durante la fase di spinta dei martinetti.

In mancanza di indicazioni più dettagliate, si ipotizza che la spinta massima ottenibile da ciascun martinetto sia pari a circa 6685 KN.

L'avanzamento dello scudo è garantito dall'azione simultanea di 54 martinetti provvisti di piastra di ripartizione di area pari a circa 2844 cm².

Le verifiche tensionali riportate di seguito considerano la condizione di sollecitazione più gravosa per il rivestimento definitivo, ovvero quella in cui la spinta fornita dai martinetti risulta essere massima.

In favore di sicurezza si ipotizza che l'azione esercitata dal martinetto sul concio sia caratterizzata da un'eccentricità rispetto l'asse geometrico della sezione di contatto pari a 25 mm.

La massima pressione di schiacciamento al di sotto delle piastre risulta pari a:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{N \times e}{J} \times 0.5h = 30,6 \text{ MPa}$$

Dove:

N = spinta massima esercitabile dal martinetto

A = area della sezione di contatto

e = eccentricità

J = momento d'inerzia della sezione di contatto

h = altezza della sezione di contatto

Per la verifica di forze concentrate sulla superficie di strutture in cemento armato e ripartite, come in questo caso, tramite piastre metalliche, è possibile riferirsi alla tensione limite $\sigma_{\text{res}} = f_{\text{ck}}/1.1 = R_{\text{ck}}/1.3$ (fornita dalla normativa nei casi di ancoraggio di cavi o barre di precompressione):

$$\sigma_{\text{res}} = R_{\text{ck}} / \gamma_c = 45 / 1,3 = 34.6 \text{ MPa}$$

In questo caso risulta che $\sigma < \sigma_{\text{res}}$ e quindi la verifica può ritenersi soddisfatta.

La spinta del martinetto determina inoltre una forza di divaricamento sul concio in direzione radiale che può essere stimata secondo la formula proposta da Leonhardt (par. 3.3.1.1):

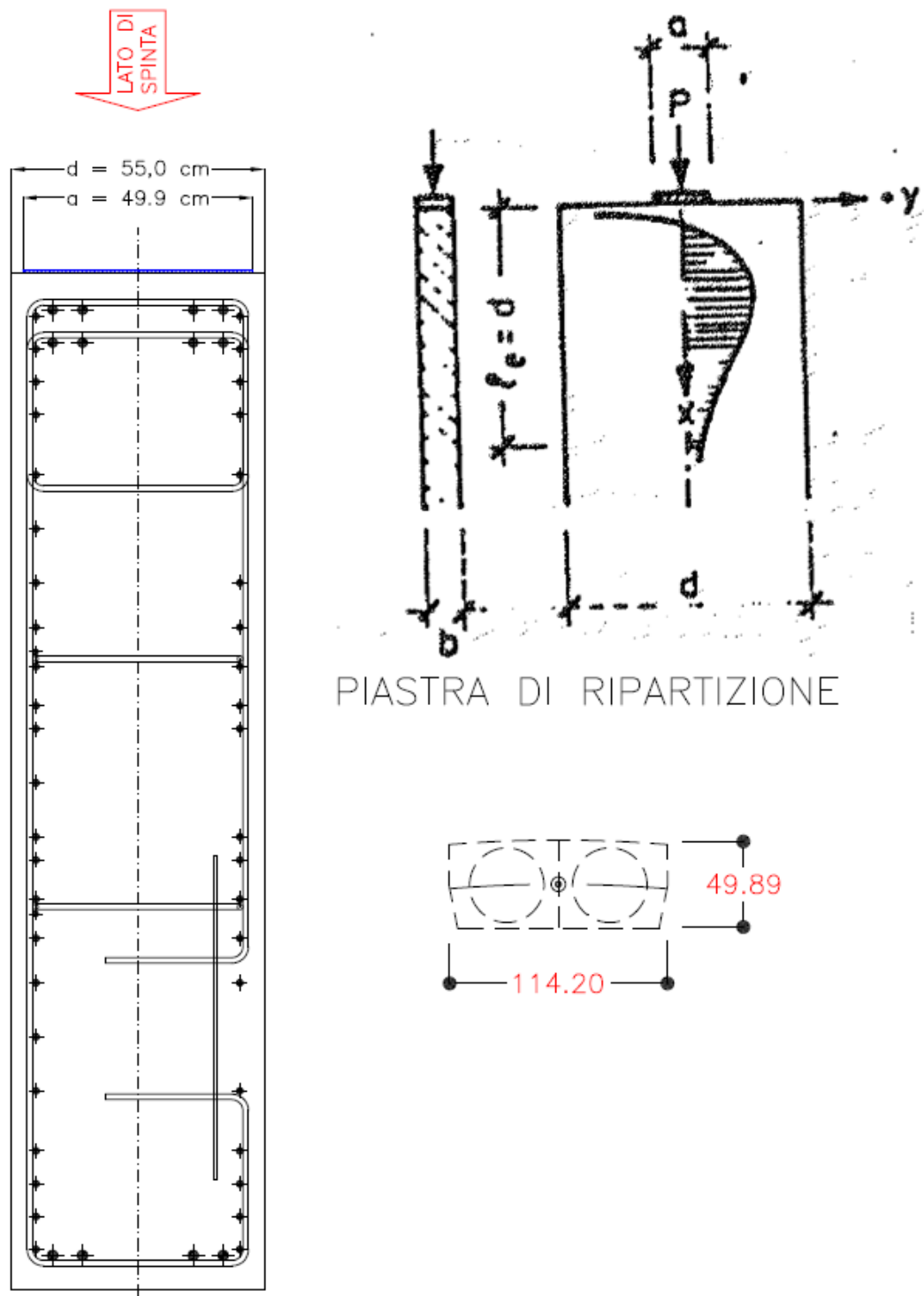


Figura 34 – Schema calcolo armature di frettaggio

$$F_t = 0.3 N_{max} (1 - a/d) = 186,3 \text{ kN}$$

$$F_{td} = 1.4 F_t = 260,9 \text{ kN}$$

(in cui a = altezza della sezione di contatto; d = spessore del concio).

Tale forza deve essere contrastata con un'armatura costituita da staffe appositamente previste per il frettaggio.

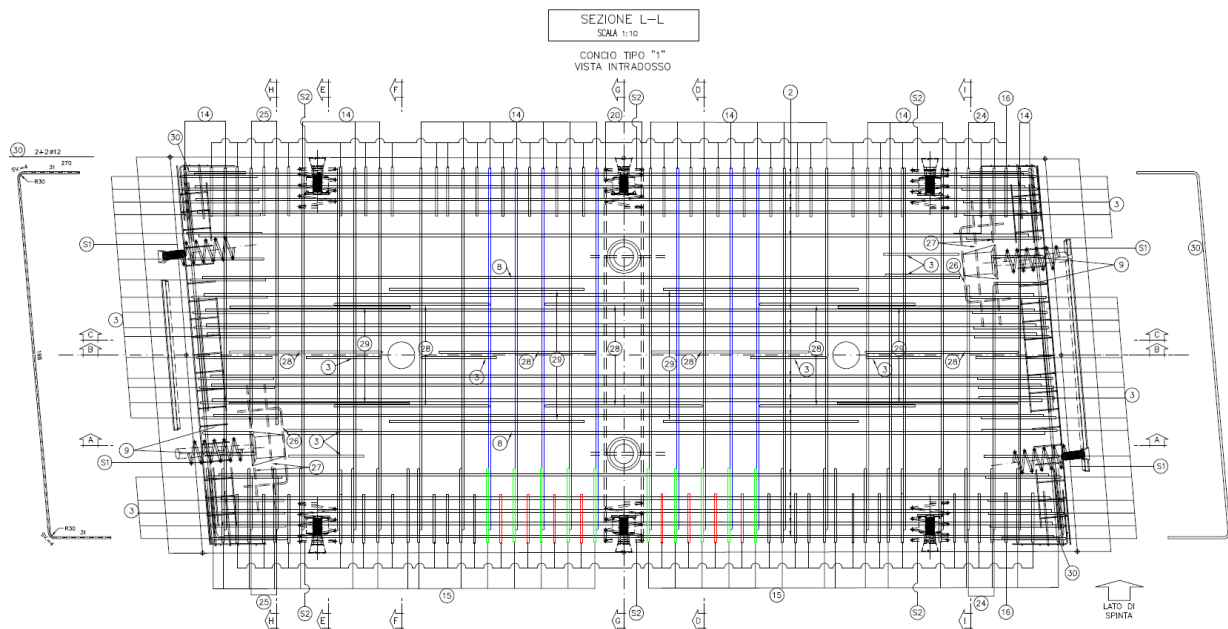
Ad ogni gruppo di spinta corrispondono 2 martinetti, per una forza di divaricamento totale pari a

$$F_{t \text{ gruppo_spinta}} = 521,7 \text{ kN}$$

Ogni gruppo di spinta agisce su un terzo del concio, a cui corrispondono i seguenti ferri:

- | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| - Pos. 15 | - 10 staffe Ø12 a 2 braccia | (in verde nella figura); |
| - Pos. 14,24,25 | - 10 Ø12 | (in blu nella figura); |
| - Pos. 16 | - 8 Ø12 | (in rosso nella figura); |

Per un totale di 42,98 cm².



La figura riportata deve essere considerata come uno schema indicativo per meglio comprendere quantità e posizione dell'armatura di frettaggio e, pur riportando le corrette quantità, potrebbe non corrispondere con l'ultima versione del progetto. Per qualsiasi dettaglio si rimanda quindi agli elaborati grafici specifici

Figura 35 – Schema armature di frettaggio

La massima forza di trazione resistente è pari a:

$$F_{t, \text{res}} = A_s \times f_{yd} = 0.004298 \text{ m}^2 \times 391 \text{ MPa} = 1681,7 \text{ KN}$$

Anche in questo caso la verifica può ritenersi soddisfatta.

6. SISTEMA DI CONNESSIONE LONGITUDINALE

6.1. Specifiche tecniche

In fase di P.E. si era previsto l'utilizzo, quale sistema di collegamento longitudinale fra anelli adiacenti, di "elementi ad attrito" come i connettori tipo "Biblock-System", già adottati per il rivestimento della galleria Sparvo, disposti su ciascun concio in numero di 4 per lato (2 per il concio di chiave). I valori di resistenza minimi richiesti erano pari a 195 KN per il pull-out e 130 KN per il taglio.

Il passaggio dallo schema di anello costituito da 9+1 conci di larghezza pari a 2,0 m previsto in P.E. alla nuova configurazione con 9 conci di medesima dimensione di lunghezza 2,20 m (configurazione 9+0), ha comportato anche, come descritto in precedenza (cfr. cap. 4), una modifica al sistema di connessione longitudinale che prevede nella nuova soluzione l'utilizzo di 3 connettori per ciascun concio, per un totale di 27 connettori per anello. La modifica, come riportato nella seguente Tabella 4, ha comportato necessariamente un incremento delle resistenze minime prescritte:

| Requisito di resistenza | Fase Progettuale | |
|--------------------------------------|------------------|--------------|
| | P.E. | P.E.D |
| Resistenza a sfilamento – "Pull out" | ≥ 195 KN | ≥ 230 KN (*) |
| Resistenza a taglio | ≥ 130 KN | ≥ 185 KN |

(*) nell'ipotesi di considerare la verifica di stabilità del concio appeso con anche la forza di compressione generata dalla guarnizione in presenza di un gap pari a 4 mm

Tabella 4 – Sistema di connessione longitudinale – Requisiti minimi di resistenza

Il sistema di collegamento longitudinale fra anelli adiacenti mediante elementi strutturali tipo "sistema *Easy click Magnum*", che si intende adottare per la realizzazione del rivestimento in conci, risponde ai requisiti di progetto e prevede l'impiego di:

- due alloggiamenti per il serraggio ("*bussole*"), annegati nel calcestruzzo, che vengono prodotti con materiale composito resistente all'abrasione e alla corrosione; essi vengono inserite nel getto, tra i ferri di armatura e con apposita armatura di frettaggio, mediante una dima di posizionamento. All'interno di ogni alloggiamento è presente una boccia in nylon fibrato vetro la cui forma garantisce la tenuta del connettore;
- un perno di connessione prodotto in acciaio e rivestito con materiale composito (nylon fibrato vetro), inserito negli appositi alloggiamenti al momento del montaggio dei conci.
- un elemento di centraggio, costituito da una "palla" realizzata anch'essa in materiale plastico, posizionata a cavallo del giunto di collegamento.



Figura 36 – Elementi costituenti il sistema di connessione

La rappresentazione grafica del sistema, prodotto da “ImpreService s.r.l.” è riportata nella pagina seguente.

Le caratteristiche di resistenza al taglio e di pull-out dei connettori proposti, secondo quanto riportato nella documentazione tecnica di qualifica del prodotto e sintetizzato nel seguito, risultano ampiamente superiori ai requisiti minimi richiesti, riportati in Tabella 4.

| | | |
|---|---|--------------------|
| • | Resistenza sfilamento “pull-out” | > 300 KN |
| • | Resistenza taglio | > 500 KN |

Tabella 5 – Valori di resistenza del sistema di connessione

Essi presentano inoltre deformazioni allo sfilamento e taglio, sotto le sopra indicate sollecitazioni di funzionamento, compatibili con i limiti imposti dalla tenuta idraulica delle guarnizioni, nell’ottica di un corretto comportamento in esercizio del sistema combinato di connessione e tenuta idraulica. Si può osservare dal grafico di pagina 6 della scheda prodotto che, in corrispondenza della resistenza di pull-out minima richiesta pari a 230 KN, si hanno spostamenti di poco superiori a 2.0 mm, che salgono a circa 3,0 mm in corrispondenza di una trazione di 300 KN, comunque del tutto accettabili (si vedano anche le considerazioni riportate al capitolo 9 dedicato al sistema di tenuta idraulica).

I risultati dei test di verifica dei requisiti di resistenza a Pull-out e taglio sono in dettaglio riportati in ALLEGATO A – Sistema di connessione “Easy Click Magnum” – Test di resistenza a Pull-out e Taglio.

6.2. Verifiche Statiche

Nel seguito si ripercorrono le verifiche presentate in sede di Progetto Esecutivo, con riferimento ai prodotti che si intende impiegare in fase costruttiva (connettori e guarnizione) ed al nuovo layout dell'anello. Nella nuova configurazione 9+0 come detto è prevista la presenza di 3 connettori per ciascun concio.

Al fine di verificare in dettaglio i requisiti prestazionali del sistema di connessione, se ne è preso in considerazione il comportamento in alcune situazioni critiche rappresentative, volte a definire da un lato i requisiti di resistenza rispetto a configurazioni e meccanismi che prefigurano la rottura del sistema di connessione, dall'altro i requisiti di efficienza e durabilità per un corretto funzionamento del sistema di connessione durante la vita utile dell'opera. Più in dettaglio vengono prese in esame le seguenti situazioni critiche:

- Meccanismo di rottura nell'ipotesi di un temporaneo sostegno del concio da parte dei soli connettori in fase di montaggio dell'anello di rivestimento.
- Verifica sulle condizioni di tenuta della guarnizione durante le fasi di montaggio ed in esercizio;
- Garanzia di continuità statica del rivestimento tra due anelli adiacenti.

Le verifiche sono state condotte con riferimento alle effettive caratteristiche di resistenza e deformabilità delle connessioni, come riportato nel paragrafo precedente, tenendo quindi in considerazione sia la ridotta deformabilità del prodotto (che aumenta le prestazioni in termini di tenuta idraulica ma determina necessariamente un incremento delle sollecitazioni) che la sua effettiva resistenza.

6.2.1. Verifica in fase transitoria (montaggio dei conci)

Viene di seguito presa in considerazione la sollecitazione agente nell'ipotesi di un temporaneo sostegno del concio da parte dei soli elementi di collegamento in fase di montaggio dell'anello di rivestimento.

Questo nell'ipotesi di una "errata manovra" che vede l'accidentale distacco dei martinetti di spinta; tale condizione di carico non è infatti prevista nella normale procedura di montaggio, che prevede sempre il contatto tra martinetti e superficie di spinta del concio, una volta distaccato il sistema di erezione per la movimentazione e posa in opera dei conci. Risulta, tuttavia, opportuno verificare che la resistenza dei collegamenti garantisca la sicurezza impedendo la caduta del concio stesso, a garanzia della sicurezza degli addetti ai lavori.

Lo schema di carico è quindi quello di un concio disposto a sbalzo, avente come elemento di equilibrio i connettori longitudinali e le condizioni geometriche di forma del concio stesso; la condizione più gravosa è quella del concio disposto in chiave calotta. In questo caso si ha una sollecitazione combinata di taglio e momento flettente, entrambi agenti sui connettori.

Nel seguito si esamina la distribuzione delle sollecitazioni resistenti, considerando la zona di compressione inferiore nel concio, con diminuzione del braccio della coppia interna resistente.

Viene considerato dapprima l'equilibrio in presenza, quale forza agente, del solo peso proprio del concio e successivamente viene tenuta in conto anche la reazione fornita dalla guarnizione schiacciata nella fase di posizionamento del concio prefabbricato.

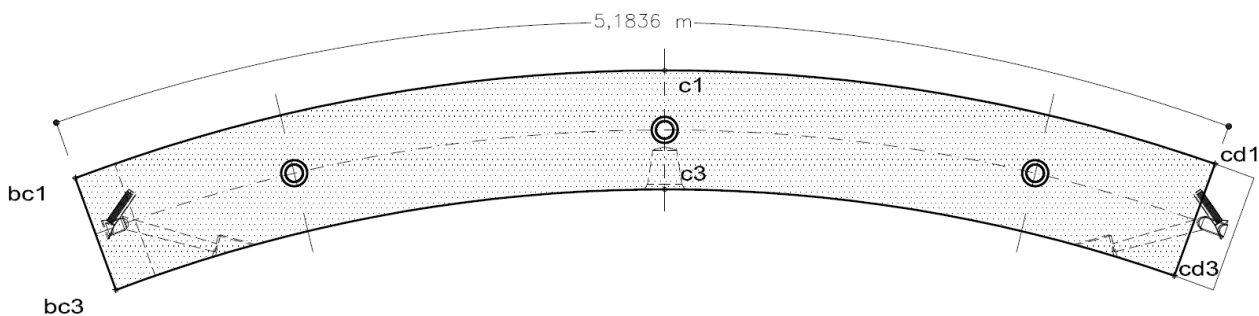


Figura 38 – Geometria del concio

6.2.1.1. Azione agente: peso proprio

Il peso del concio è pari a:

$$P = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,55 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \times 5,1836 \text{ m} = 156,80 \text{ kN}$$

così che si ha uno sforzo di taglio, per ciascuno dei 3 bulloni previsti lungo il concio, di:

$$T = P/3 = 52,3 \text{ kN}$$

Assumendo un fattore di sicurezza pari a 2 si evidenzia una resistenza minima a taglio per il singolo bullone, in questa condizione, pari a 104,5 kN.

Il momento flettente agente sulla sezione risulta pari a

$$M = P \times L/2 = 156,80 \text{ kN} \times 2,2 \text{ m} / 2 = 172,48 \text{ kNm}$$

Ad esso si oppone la coppia di forze data dalla trazione sui connettori e dalla compressione nella zona inferiore dove il concio si appoggia all'anello adiacente. Con riferimento alla geometria del concio e alla distanza dei connettori dal lembo superiore o inferiore del concio è possibile determinare le sollecitazioni sui connettori adottando le formulazioni valide per il calcolo delle sezioni in cemento armato.

Ipotizzando per il calcestruzzo una legge costitutiva a compressione di tipo elastico-lineare (nello spirito delle "tensioni ammissibili"), e considerando per la connessione un legame costitutivo lineare con modulo elastico equivalente pari a 21424,24 MPa (determinato dalle prove sperimentali effettuate sul connettore, come riportato in ALLEGATO A) si ottiene, come riportato nella seguente Figura 3, una tensione di trazione massima sui connettori pari a 102,7 MPa, in corrispondenza del connettore centrale.

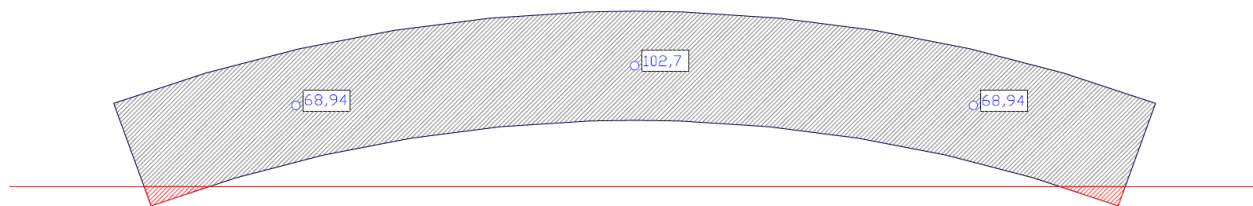


Figura 39 – Analisi peso proprio

Considerando per ciascun connettore un'area pari a 13,20 cm², si ottiene una sollecitazione di pull-out massima pari a 135,56 KN che, adottando un fattore di sicurezza pari a 1,5, come già previsto in sede di Progetto Esecutivo, fornisce un valore di resistenza minima al pull-out, in questa condizione, pari a 203,3 KN, ampiamente inferiore alle prestazioni garantite dal connettore definito.

6.2.1.2. Azione agente: peso proprio + guarnizione

Nel seguito si esamina nel dettaglio anche la possibilità che la guarnizione, posta al lembo superiore del concio, possa determinare una sollecitazione aggiuntiva nei connettori, funzione dei valori di spostamento ipotizzabili del sistema di connessione.

La forza generata dalla guarnizione risulta infatti funzione degli spostamenti registrati nel giunto, ovvero dello spostamento che si manifesta nel sistema di connessione (quale lo sfilamento del perno dalla cuffia).

L'analisi delle prove sperimentali condotte (si considerino gli esiti delle prove riportate in Allegato A), ha evidenziato, in corrispondenza di un valore di resistenza pari a 300 KN (definito come requisito di resistenza a pull-out garantito dal connettore scelto), uno sfilamento medio di circa 3 mm. Tale valore può essere quindi considerato lo spostamento limite del sistema di connessione (l'assunzione è conservativa in quanto il connettore è in grado comunque di assorbire anche trazioni superiori) ed essere assunto quale valore di spostamento della guarnizione in fase di verifica.

Con riferimento alla guarnizione modello "T184A" prodotto dalla "FIP Industriale" che verrà posta in opera sui conci della galleria S. Lucia, della quale si riporta nella figura seguente la curva *Load/Deflection*, si osserva che ad uno spostamento della guarnizione di 3,0 mm rispetto alla posizione di massimo schiacciamento corrisponde una forza di reazione leggermente inferiore a 34,0 KN/m, con conseguente incremento del momento flettente agente sulla sezione, che risulta pari a:

$$\Delta M_{guar} = R \times L_{guar} \times \delta = 32,98 \text{ KN*m}$$

dove:

ΔM_{guar} = incremento del momento flettente per effetto della guarnizione;

R = forza di reazione esercitata dalla guarnizione;

L_{guar} = sviluppo della guarnizione, misurata in corrispondenza del suo asse (5,31 m);

δ = distanza tra l'asse della guarnizione e l'asse del concio (18,27 cm).

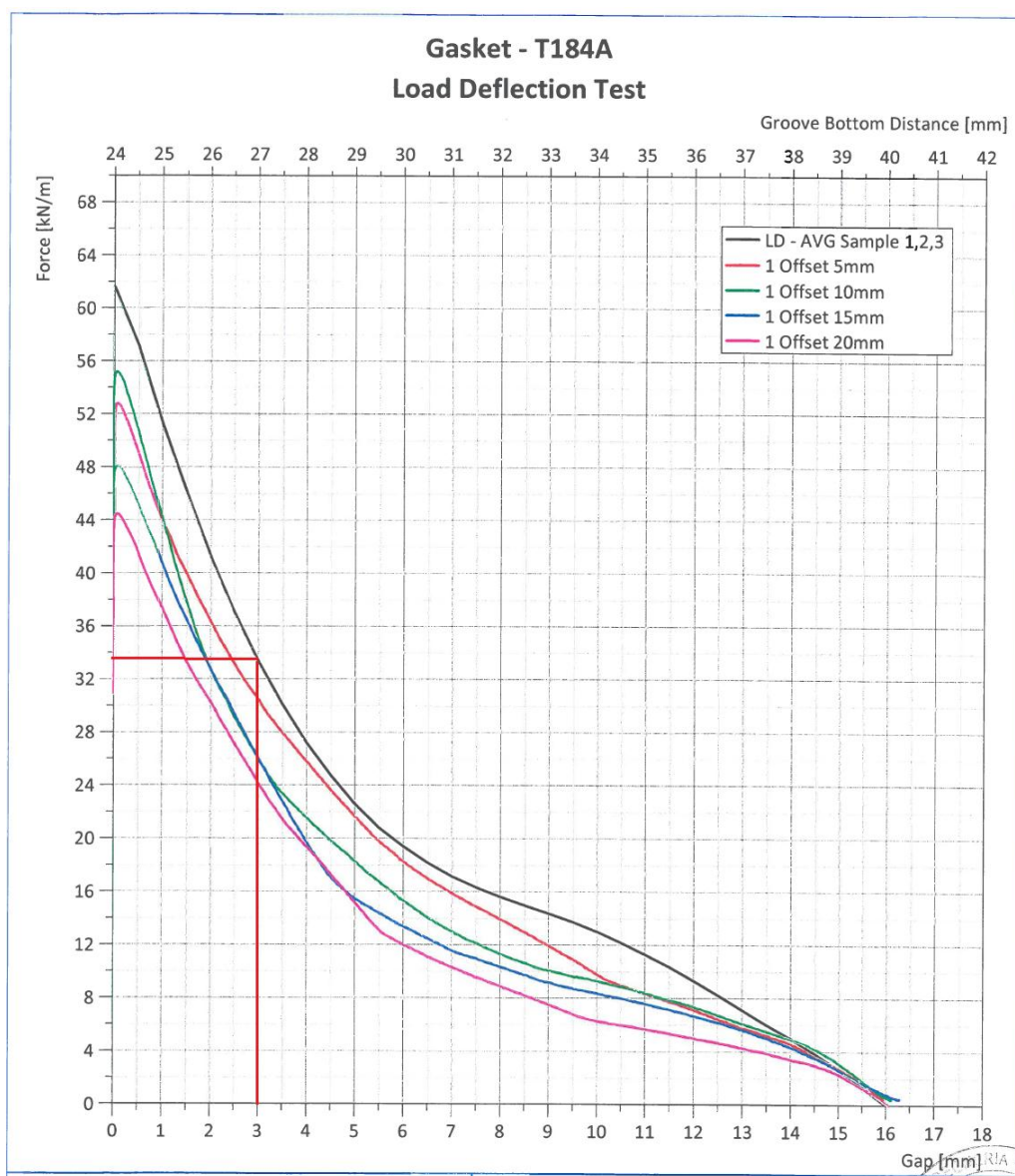


Figura 40 – Guarnizione T184A – Diagramma Load-Deflection

Considerando un momento pari a $M = 205,46 \text{ KN}\cdot\text{m}$, sempre nell'ipotesi di legge costitutiva a compressione di tipo elastico-lineare per il calcestruzzo e legame costitutivo lineare con modulo elastico equivalente pari a $21424,24 \text{ MPa}$ per il sistema di connessione, si ottiene, come riportato nella seguente Figura 41, una tensione di trazione massima sui connettori pari a $122,3 \text{ MPa}$, in corrispondenza del connettore centrale.

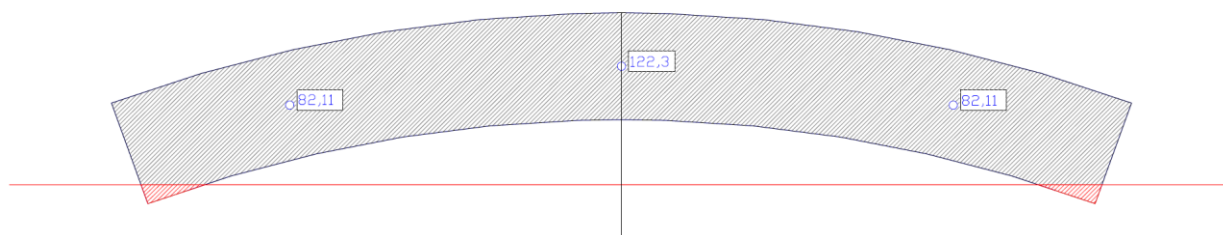


Figura 41 – Analisi peso proprio + guarnizione

Considerando per ciascun connettore un'area pari a $13,20 \text{ cm}^2$, si ottiene una sollecitazione di pull-out massima pari a $161,4 \text{ KN}$ che, adottando un fattore di sicurezza pari a $1,5$, fornisce un valore di resistenza al pull-out, in questa condizione, pari a $242,2 \text{ KN}$, ancora ampiamente inferiore al limite di 300 KN .

6.2.2. Verifica in fase di esercizio (schiacciamento della guarnizione)

I conchi prefabbricati sono muniti di guarnizione a nastro in elastomero sull'intero perimetro, al fine di garantire, in esercizio, la tenuta del rivestimento, sia idraulica sia in presenza di gas.

Si è prescritto, quale prestazione della guarnizione, la tenuta per pressioni di 10 bar , anche con un off-set (disallineamento tra guarnizioni prospicienti) pari a 20 mm , determinato in considerazione di possibili battenti idrostatici lungo il tracciato della galleria.

Si adotterà una guarnizione ad espansione meccanica in etilene-diene (EPDM), la cui geometria è riportata nella figura seguente, che supporta una tenuta idraulica di 10 bar in presenza dell'offset richiesto.

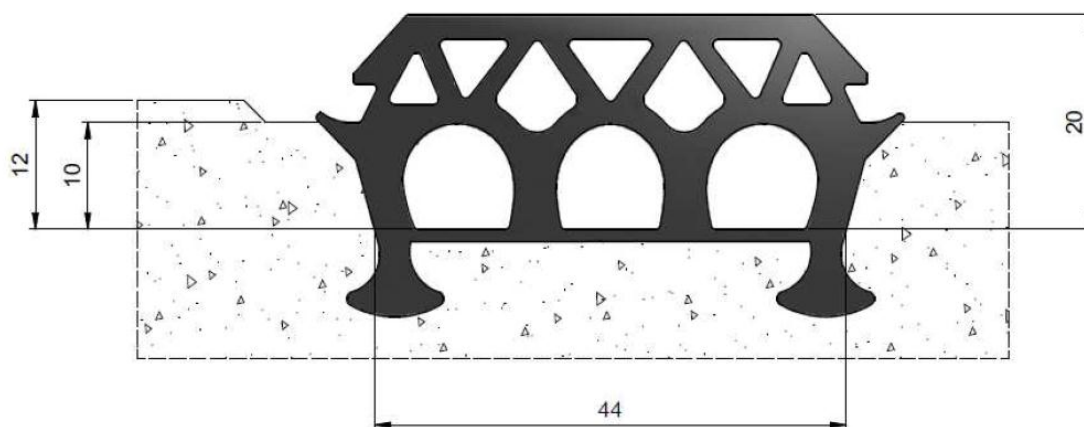


Figura 42 – Guarnizione T184A

L'interazione tra la guarnizione ed il sistema di connessione è legata in fase di esercizio alla funzione che la connessione longitudinale svolge nel garantire il mantenimento dello schiacciamento della guarnizione successivamente al distacco dei martinetti di spinta.

Nelle figure seguenti si riportano nuovamente le curve “*Load-Deflection*” e il diagramma “*Gap-Water Pressure*” per la guarnizione esaminata, al fine di determinare la forza di compressione da imprimere al sistema di connessione.

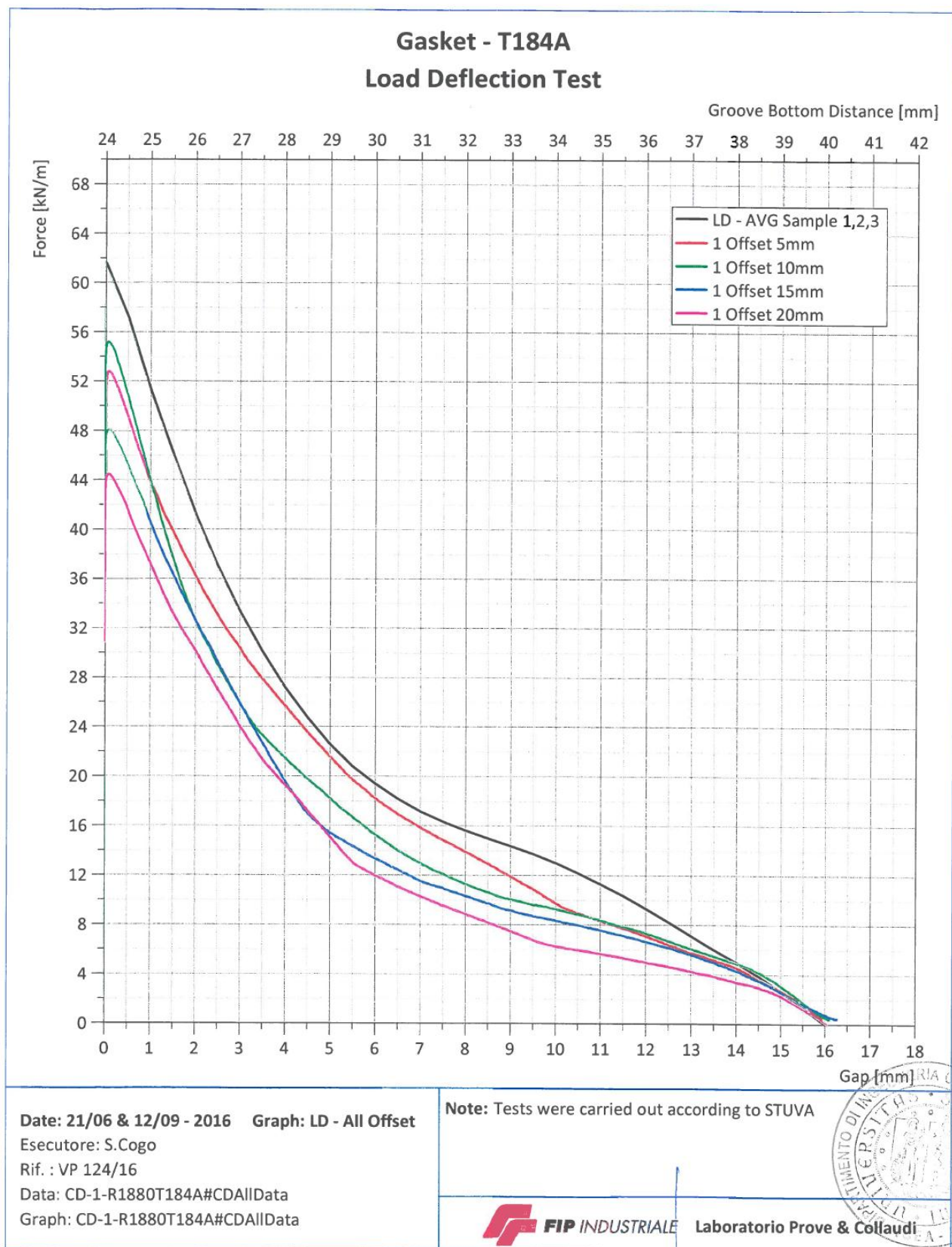


Figura 43 – Guarnizione T184A – Diagramma Load-Deflection

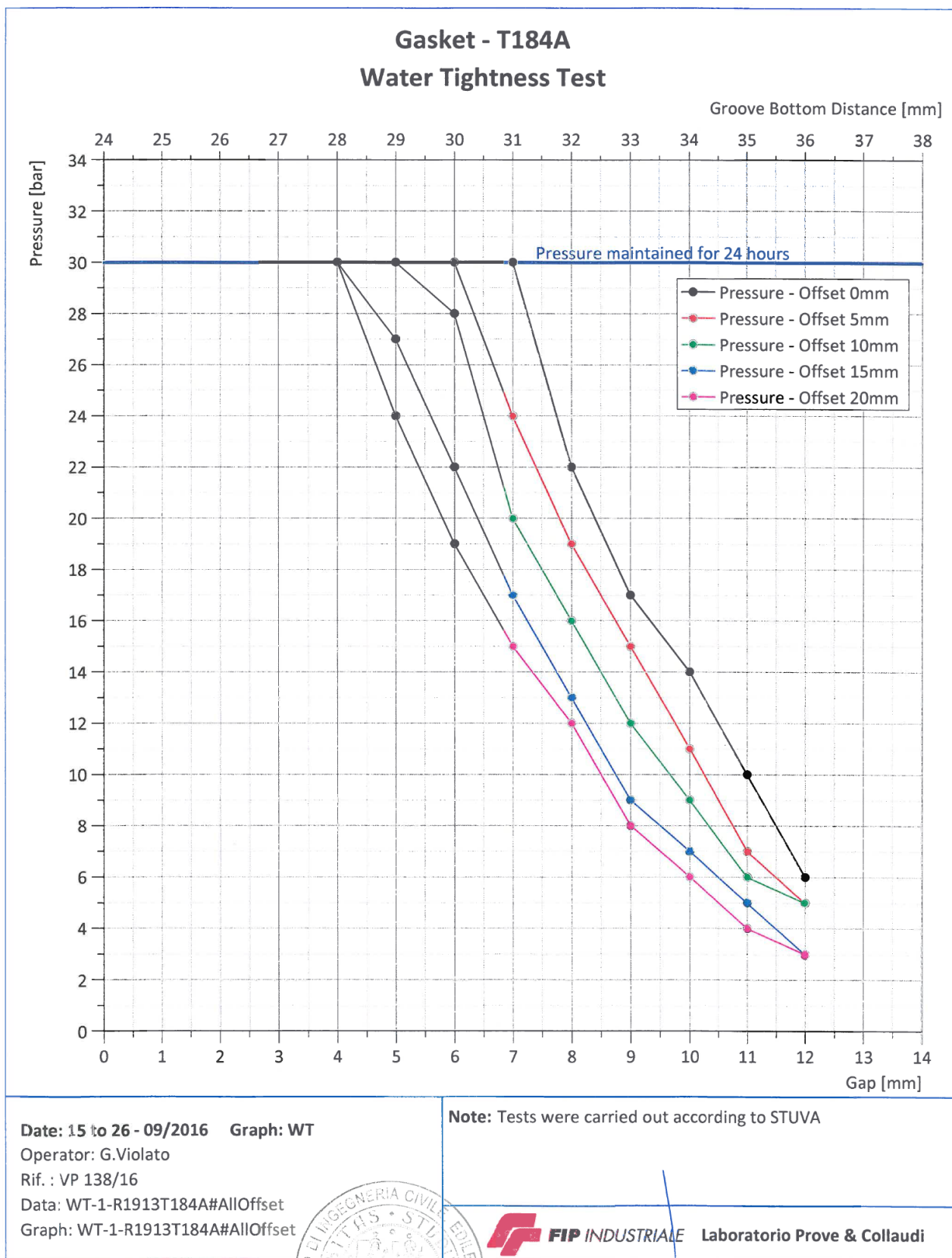


Figura 44 – Guarnizione T184A – Diagramma Gap-Water pressure

Si può osservare dai diagrammi riportati che in corrispondenza dello schiacciamento massimo della guarnizione, ovvero nel caso che le due facce in cls dei conci vengano a contatto e si ha la massima contrazione della guarnizione, pari a 16 mm, le forze massime di schiacciamento necessarie risultano pari a circa 62 KN/m.

Si tratta di forze molto cautelative in quanto per ottenere la pressione di tenuta di 10 bar, in presenza di un offset di 20 mm, sarebbero sufficienti schiacciamenti inferiori (cfr. Figura 44). Ai fini del dimensionamento dei connettori consideriamo comunque cautelativamente le pressioni massime sopra esposte pari a 62 kN/m.

Essendo lo sviluppo della cava per la guarnizione pari a 5,312 m la sollecitazione di pull-out nel singolo bullone risulta:

$$T = 62 \text{ kN/m} \times 5,312 \text{ m} / 3 = 109,8 \text{ kN}$$

così che assumendo anche in questo caso un fattore di sicurezza pari a 1,5 si ottiene una resistenza di pull-out per questa condizione di carico pari a 164,7 kN, notevolmente inferiore al valore limite di 300 kN.

6.2.3. Verifica in esercizio (continuità statica del rivestimento)

Da ultimo, il sistema di connessione deve essere in grado di garantire una certa resistenza a taglio in corrispondenza del giunto longitudinale, così che non si verifichino dislocazioni nel rivestimento, che di fatto è costituito da anelli adiacenti.

Questo in particolare qualora il cavo della galleria interessi zone con variabilità nelle caratteristiche dell'ammasso, che possono determinare una differente costante di sottofondo nell'area di appoggio del rivestimento. Analogamente, fenomeni di dislocazione possono verificarsi in corrispondenza di carichi e sollecitazioni dissimetriche, tali da generare pressioni non uguali su anelli adiacenti.

Il valore minimo prescritto per la resistenza al taglio dei connettori è pari a 185 kN. Considerando che in un anello di rivestimento sono disposti in totale 27 connettori (9 conci equipaggiati con tre connettori ciascuno, cfr Figura 2), si ha che la massima resistenza a taglio del sistema risulta pari a:

$$V = 185 \text{ kN} \times 27 = 4995 \text{ kN}$$

Considerando che le pressioni massime applicate dagli ammassi rocciosi al rivestimento (valutate anche per la determinazione della spinta della TBM in fase di avanzamento), sono state stimate pari a 770 kPa, nella formazione più critica di Sillano, e ipotizzando di considerare il carico connesso all'impronta verticale (o orizzontale) del rivestimento, si ha un carico gravitativo pari a 26088 kN, considerando un'impronta di 15,4 m (diametro di estradosso rivestimento) per 2,2 m (estensione longitudinale dell'anello di rivestimento).

Il sistema di connessione è quindi in grado di assorbire, a taglio, una percentuale rispettivamente pari a circa il 20% del carico totale, così come assunto nelle verifiche di P.E..

Considerando le reali prestazioni dei connettori che, come mostrato dai risultati delle prove in ALLEGATO A, garantiscono valori di resistenza a taglio superiori ai 500 kN, tale percentuale cresce fino a circa il 50%.

7. SISTEMA DI CONNESSIONE TRASVERSALE

Per le caratteristiche del bullone, il progetto prevede l'adozione di bulloni in acciaio con diametro 28.2 mm, con le seguenti prescrizioni:

- Diametro filettatura bullone: 28.2 mm
- Diametro gambo bullone: 25.0 mm
- Lunghezza gambo bullone: 480 mm
- Lunghezza tratto filettato (cuffia): 170 mm
- Diametro cuffia: 42 mm

- Caratteristiche acciaio:
 - Rottura $R_t > 700 \text{ MPa}$;
 - Snervamento $R_y > 400 \text{ MPa}$.

Le prestazioni di resistenza richieste al bullone sono:

- Resistenza di pull-out: $\geq 160 \text{ KN}$
- Resistenza a taglio: $\geq 130 \text{ KN}$

In Allegato B, si riporta la scheda tecnica del bullone che l'Appaltatore intende adottare per la costruzione dell'opera, prodotto da ImpreService s.r.l.. I bulloni saranno in acciaio galvanizzato.

L'esame degli esiti delle prove sperimentali condotte presso i laboratori del "Centro Triveneto per la ricerca e prove sui materiali (CTR – Exova) di Limena (PD) evidenzia la corrispondenza dei materiali con i requisiti di progetto, fornendo un valore di resistenza a pull-out di 367,3 KN (associato ad un valore di spostamento di circa 7,5 mm) e a taglio di 447,5 KN.

I risultati dei test condotti sono riportati in Allegato C e D.

8. BARRA GUIDA

Per quanto concerne la barra guida, il progetto prevede la sua adozione lungo i giunti radiali tra conci del medesimo anello, con la funzione di agevolare la messa in opera del concio in fase di montaggio dell'anello.

Al riguardo le facce esterne dei conci sono predisposte con cave sia per l'alloggiamento della barra guida, sia per facilitare il suo scorrimento entro cava in fase di montaggio.

Le caratteristiche progettuali della barra guida sono:

- Materiale: PVC riciclato
- Lunghezza: 800 mm
- Diametro: 50 mm

In Allegato E si riporta la scheda tecnica della barra guida che l'Appaltatore intende adottare per la costruzione dell'opera.

Si tratta della barra guida in PVC, prodotta dalla "FIP Industriale", di lunghezza 800 mm (± 1 mm) e diametro 50 mm (-1 mm).

In progetto non sono previste specifiche funzioni statiche per la barra guida, la quale ha unicamente la funzione di favorire, come detto, l'allineamento dei conci prefabbricati in fase di posa in opera.

9. GUARNIZIONE DI TENUTA IDRAULICA

Il sistema di tenuta idraulica dell'anello di rivestimento prevede, lungo tutto il perimetro del concio prefabbricato, la messa in opera di una guarnizione in EPDM preformata in stabilimento, opportunamente sagomata in modo tale da garantirne l'ancoraggio al concio in fase di getto.

Le performance stabilite in Capitolato per la guarnizione sono:

- Pressione di tenuta idraulica: 10 bar
- Off-set di messa in opera: ≤ 20 mm

Le principali caratteristiche geometriche della guarnizione prevista in progetto, sono:

- Larghezza base: 44 mm
- Profondità della cava: 10 mm
- Smusso della cava: 2 mm
- Altezza della guarnizione: 20 mm
- Gomma tipo EPDM
 - Densità (DIN 53479): $> 1.1 \text{ g/cm}^3$
 - Durezza (ASTM D 2240): $70 \pm 5 \text{ Shore A}$
 - Carico a rottura (ASTM D 412): $\geq 9 \text{ N/mm}^2$
 - Allungamento a rottura (ASTM D 412): $\geq 200\%$
 - Deformazione residua 22h/70°C: $\leq 25\%/30\%$

La guarnizione che l'Appaltatore intende adottare per la costruzione dell'opera è la guarnizione T184 A prodotta dalla "FIP Industriale S.p.a". I principali requisiti della guarnizione e i risultati delle prove di qualifica condotte (eseguite in accordo con le prescrizioni STUVA) sono riportati in ALLEGATO F, ALLEGATO G, ALLEGATO H e ALLEGATO I.

Per quanto attiene alle prestazioni nei confronti della tenuta idraulica, tenuto conto che il connettore Easy Click Magnum previsto da progetto ha evidenziato nel corso delle prove di pull-out valori di spostamento prossimi a 2,5 mm in corrispondenza del valore di trazione di progetto di 230 KN (e di circa 3,0 mm in corrispondenza del valore limite di 300 KN - Vedi Figura 45), si può osservare nel diagramma riportato alla pagina seguente che il sistema garantisce, nel breve termine, una tenuta superiore ai limiti imposti da progetto in presenza di un offset di 20 mm.

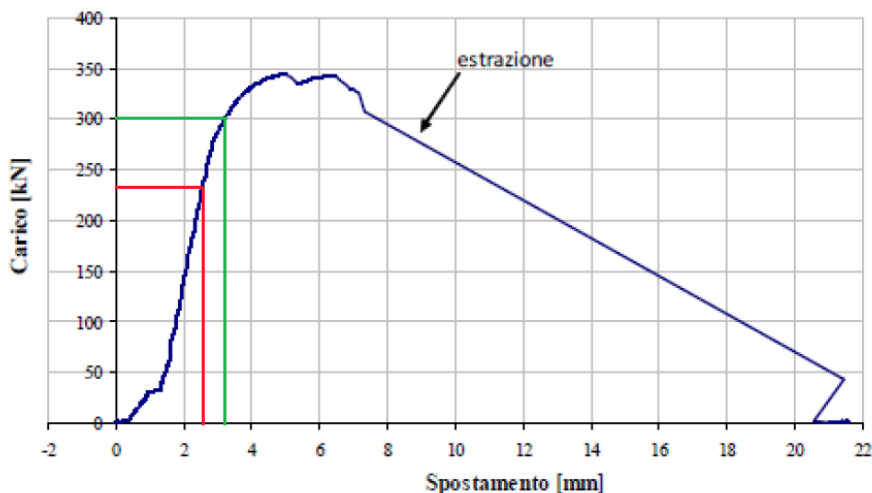


Figura 45 – Prova di pull-out sistema di connessione longitudinale

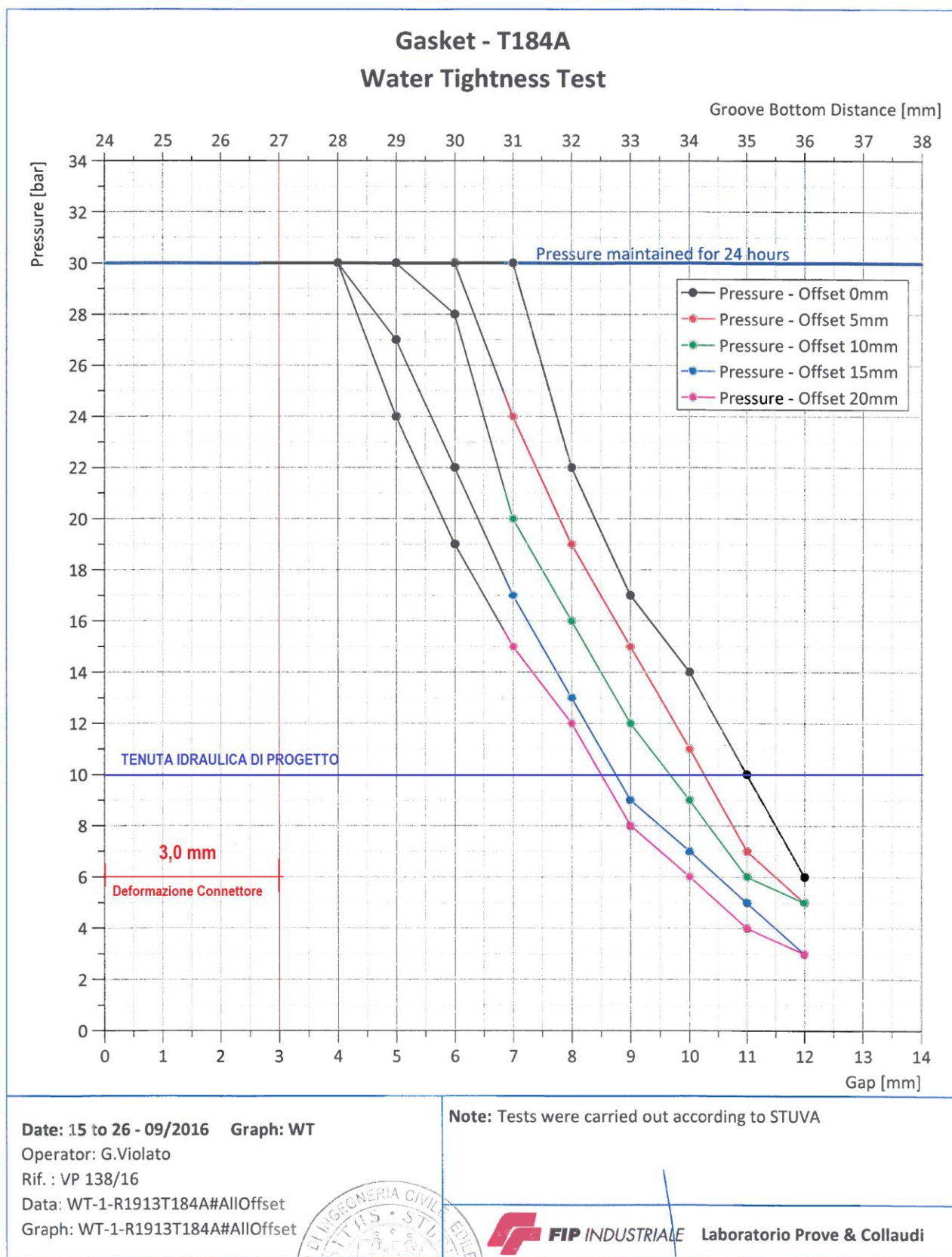


Figura 46 – Guarnizione T184A – Diagramma Gap-Water pressure

Considerando un ulteriore gap legato al rilassamento nel tempo della gomma, che le prove eseguite in accordo con le prescrizioni STUVA (vedi ALLEGATO H) hanno quantificato in 44,4% (la forza di schiacciamento residua al termine della prova risulta pari al 55,6% di quella iniziale), si

rileva come, anche nell'ipotesi conservativa di considerare l'effetto del rilassamento solo successivamente alla deformazione del connettore, i requisiti di progetto risultano in ogni caso soddisfatti.

Come riportato nella seguente Figura 47, sommando al gap 3,0 mm ottenuto per la deformazione del connettore (in rosso in figura) l'ulteriore componente legata al rilassamento della guarnizione nel lungo termine (55,6% del valore a gap 3,0 mm – in verde in figura), si ottengono gap totali variabili tra 6,5 mm (offset 0mm, 5mm e 10mm) e 5,5 mm (offset 15mm e 20mm).

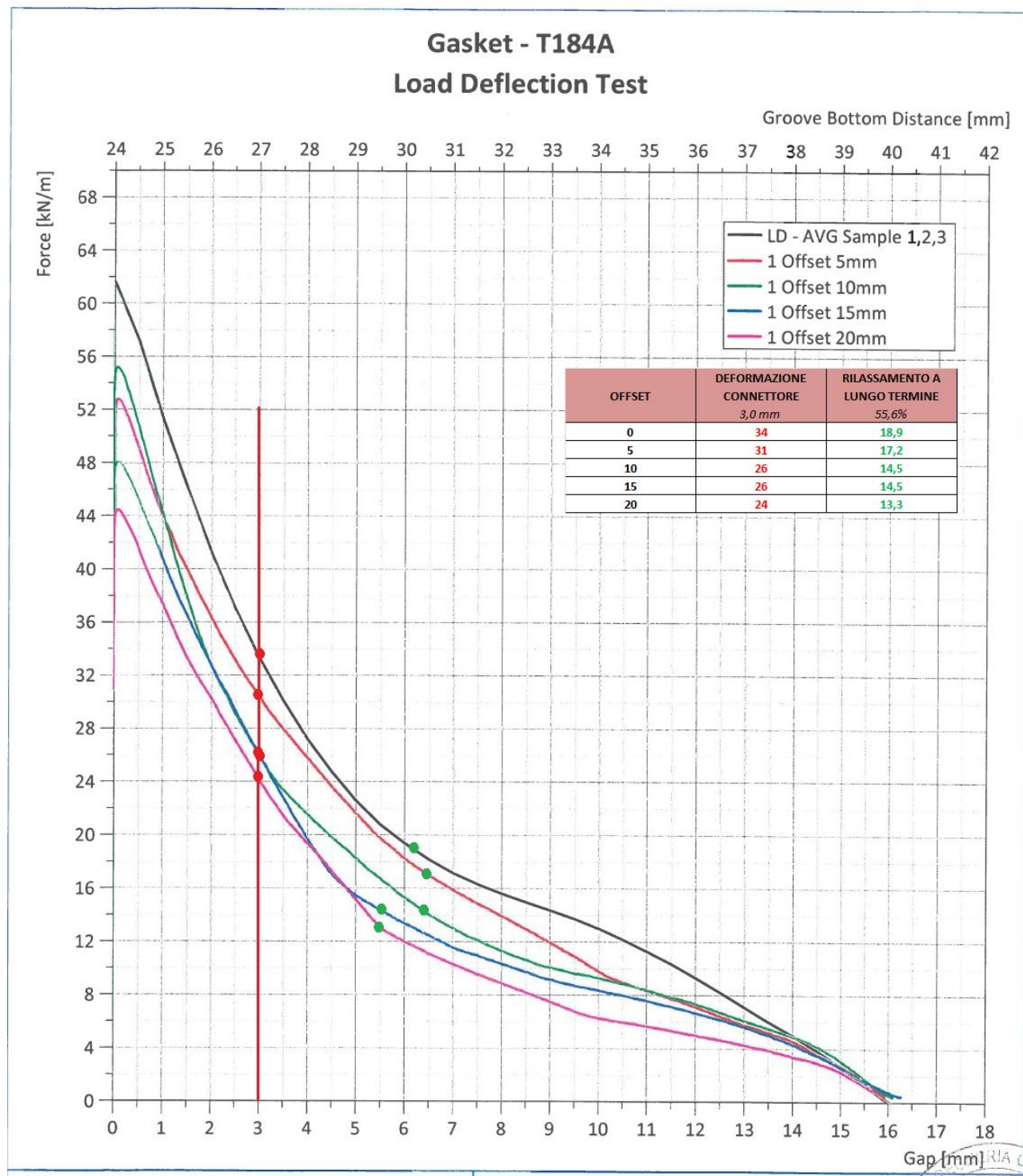


Figura 47 – Guarnizione T184A – Diagramma Load Deflection con rilassamento

Riportando i valori di gap ottenuti per ciascuna configurazione di offset sulla curve del diagramma Gap-Water pressure si evidenziano anche in questo caso valori di tenuta compatibili con i requisiti di tenuta idraulica prescritti, come si può osservare nella seguente Figura 48.

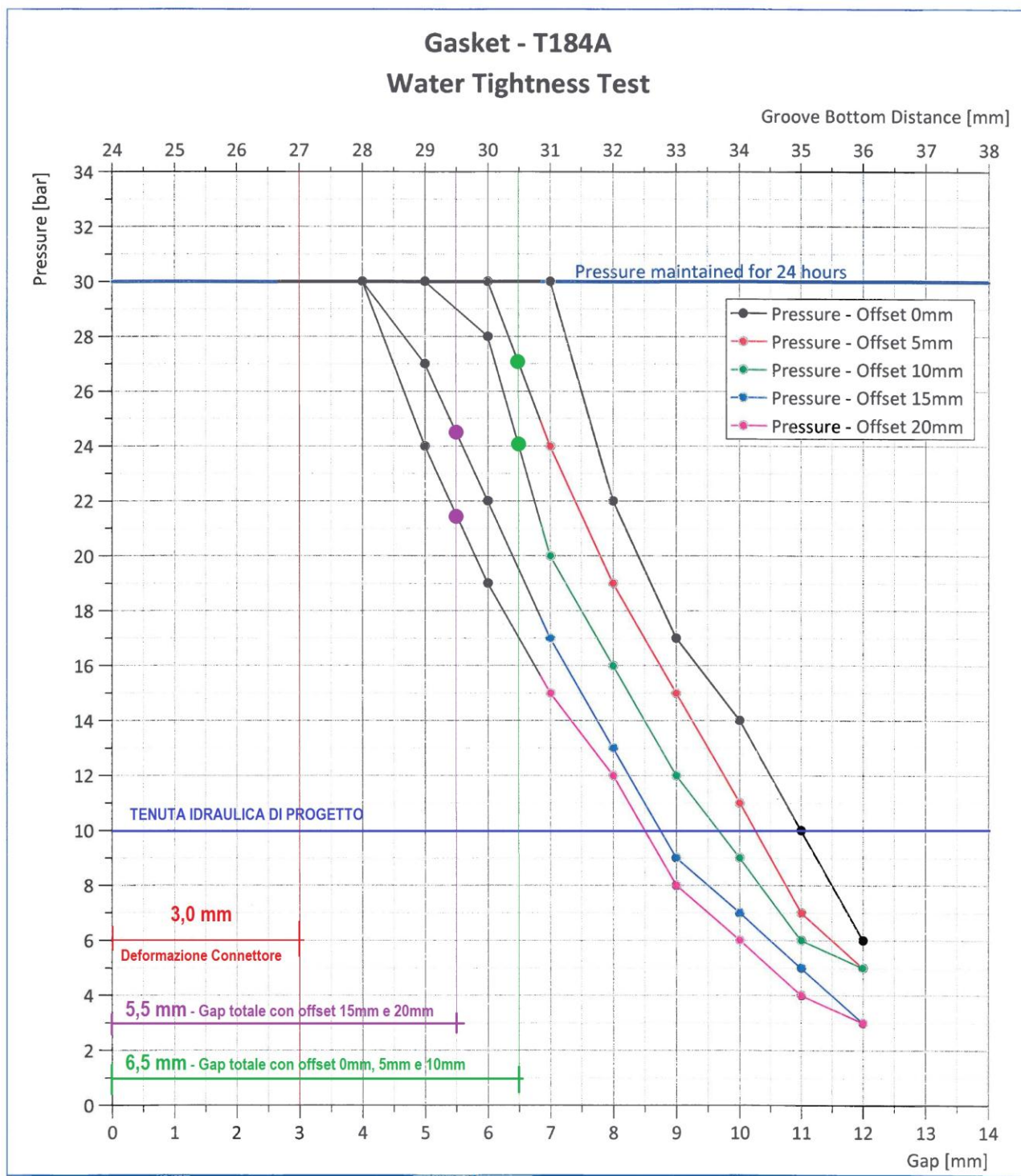


Figura 48 – Guarnizione T184A – Diagramma Gap-Water pressure – Tenuta a lungo termine

10. ELEMENTO DI TENUTA AGGIUNTIVO

Per quanto concerne l'elemento di tenuta aggiuntivo, da posizionarsi in estradosso al concio prefabbricato, la sua funzione è sostanzialmente quella di sigillare lo scasso esterno del concio fino al completamento riempimento della malta.

Non ha quindi una funzione statica o di tenuta vera e propria; il carico a rottura risulta pari a 250 kPa nella direzione di estrusione e di 170 KPa in direzione trasversale.

Viene realizzato in polietilene espanso e presenta geometria di 25 mm di base ed altezza di 20 mm.

La scheda tecnica è riportata in Allegato L.

11. CONCLUSIONI – QUADRO SINTETICO

Nelle tabelle seguenti si riporta un riepilogo delle principali caratteristiche dell'anello di rivestimento da adottare per il rivestimento della Galleria Santa Lucia, scavata con TBM del tipo EPB, sia relativamente alla geometria che ai requisiti minimi del sistema di connessione ed impermeabilizzazione.

| Geometrie anello rivestimento in conci | |
|--|------------------------|
| Diametro di scavo | 16.000 mm |
| Raggio interno | 7.150 mm |
| Raggio esterno | 7.700 mm |
| Diametro intradosso | 14.300 mm |
| Diametro estradosso | 15.400 mm |
| Spessore concio | 550 mm |
| Numero conci | 9+0 |
| Lunghezza conci | 2200 mm (2171-2228 mm) |
| Spessore riempimento | 300 mm |
| Gruppi di spinta | 27 (2 martinetti) |
| Numero martinetti spinta | 54 |
| Lunghezza corsa martinetto | 3300 mm |

Tabella 6 – Specifiche tecniche del progetto – Anello di rivestimento in conci

| Caratteristiche accessori | |
|---|--|
| BULLONI (2 per lato) | <p>Bullone in acciaio Diametro $\varnothing 25$ mm nel gambo e $\varnothing 28.2$ mm nella parte filettata Cuffia 42mm L=170mm $R_{ys} \geq 400$ MPa $R_{rott} \geq 700$ MPa</p> <p>Resistenza sistema di connessione: - allo sfilamento (pull-out) ≥ 160 kN - taglio ≥ 130 kN</p> |
| SISTEMA DI CONNESSIONE CON ELEMENTI AD ATTRITO (3 per concio) | <p>Il sistema di connessione presenta una lunghezza complessiva di 412 mm, costituiti da un perno centrale, con funzione di centratore e per supportare una parte di resistenza a taglio, della lunghezza di 126 mm e di diametro esterno massimo 94 mm, due alloggiamenti per il serraggio (bussola easy click) di diametro massimo pari a 139 mm ed un perno in acciaio con diametro esterno pari a 41mm, filettato nella zona terminale di aggancio alla boccola.</p> <p>Resistenza sistema di connessione: - allo sfilamento (pull-out) ≥ 230 kN - taglio ≥ 185 kN</p> |

| | |
|-------------|--|
| BARRA GUIDA | In PVC riciclato diametro $\varnothing \geq 50\text{mm}$ L=800mm |
| GUARNIZIONE | In elastomero EPDM con alette annegate nel cls Tenuta 10 bar (offset $\leq 20\text{mm}$) Shore 70 Sh A ± 5 |

Tabella 7 – Specifiche tecniche del progetto - Accessori di connessione e tenuta idraulica

ALLEGATO A – Sistema di connessione “Easy Click Magnum” – Test di resistenza a Pull-out e Taglio

IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

EASY CLICK MAGNUM : pull-out test

IMPRESERVICE Srl si avvale principalmente del Laboratorio Prove Materiali dell'Università Tor Vergata a Roma e di EXOVA (Limena) per testare i sistemi di connessione **EASY CLICK MAGNUM**.

Vengono di seguito riassunte una prova di pull-out e di taglio eseguite sul sistema **EASY CLICK MAGNUM** (il report originale delle prove viene allegato al presente documento).

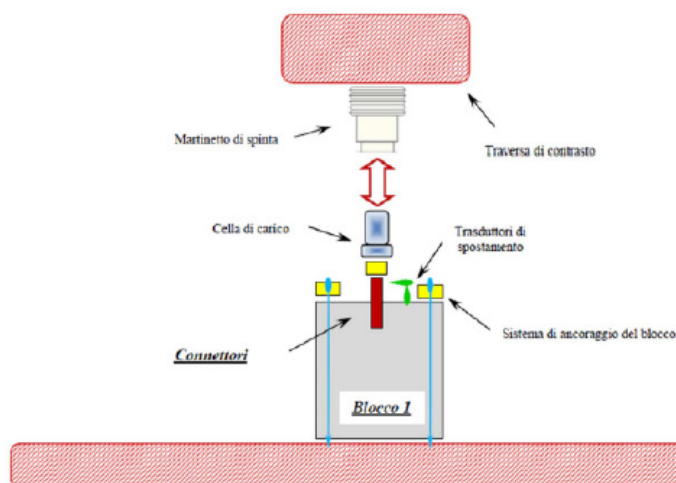
CARATTERISTICHE DEL MATERIALE TESTATO

Il test è stato eseguito impiegando i seguenti materiali:

- ❖ Sistema **EASY CLICK MAGNUM** con perno in acciaio di diametro 36 mm (classe S235JR)
- ❖ Blocco in calcestruzzo ($R_{ck}50$) / L=700 mm / rinforzato con gabbia di armatura

PULL-OUT TEST SETUP

Viene di seguito schematizzato il setup della prova di estrazione (PULL-OUT TEST).



EASY CLICK MAGNUM



IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

Le boccole di serraggio del sistema **EASY CLICK MAGNUM** sono state gettate nei blocchi di calcestruzzo armato.

Il blocco in c.a. con le boccole annegate viene ancorato ad un telaio metallico realizzato con profili HE300B e fissato al piastrone di base in c.a.p.

L'estrazione del connettore è eseguita con un martinetto elettromeccanico da 1000 kN.

Il carico è misurato da una cella da 1000 kN (modello AZ-U-SSFA), posizionata sotto il martinetto.

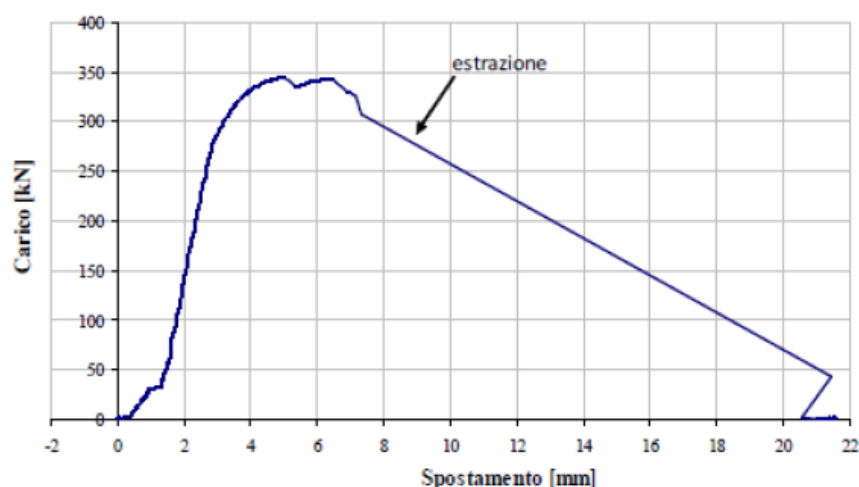
Ad una estremità il connettore del sistema **EASY CLICK MAGNUM** è stato facilmente inserito a mano nella boccola di serraggio gettata nel blocco di calcestruzzo armato; l'altra estremità del connettore è stata bloccata in una morsa di presa (illustrata in figura 5 – pag.9 del Report originale dell'Università di Tor Vergata).

Gli spostamenti sono misurati con quattro trasduttori a filo centesimali (posizionati come illustrato in figura 4 – pag.8 del Report originale dell'Università di Tor Vergata).

I trasduttori di spostamento sono installati eliminando i giochi di corsa necessari per il corretto azzeramento senza sollecitare il connettore nella boccola gettata nel blocco.

Il test viene eseguito in controllo di spostamento, imponendo al martinetto di avanzare alla velocità di 691 $\mu\text{m/s}$.

RISULTATO DEL TEST



Max valore di pull-out è 345 kN.

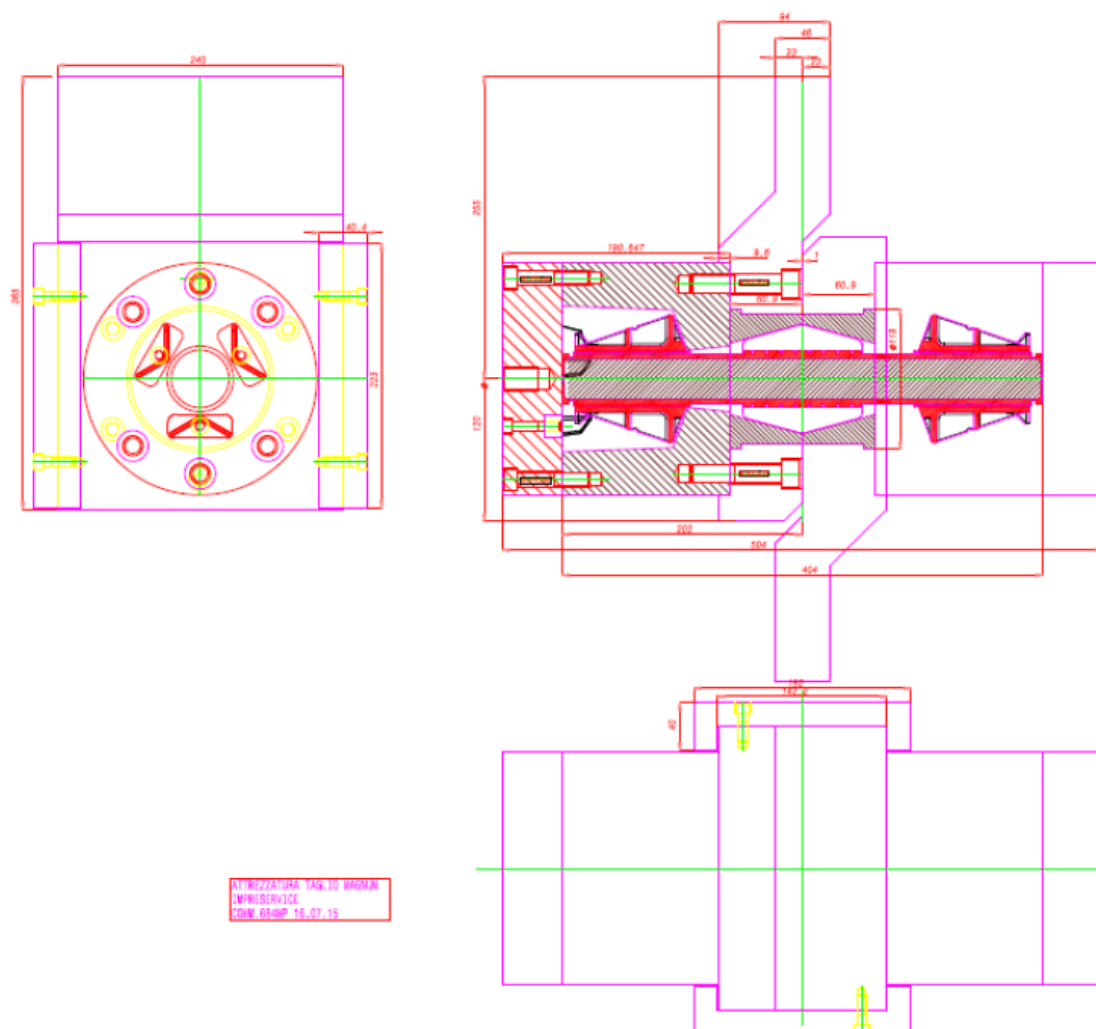
I dati descritti sono stati estrapolati dal report tecnico n.160/2013 datato Dicembre 2013 (pull-out test) eseguito e redatto dal Laboratorio Prove Materiali dell'Università Tor Vergata di Roma.

EASY CLICK MAGNUM



SHEAR TEST SETUP

Viene di seguito schematizzato il setup della prova di taglio (SHEAR TEST).



Le boccole di serraggio del sistema **EASY CLICK MAGNUM** sono state posizionate in blocchi di acciaio collegati ad una attrezzatura di presa.

Il sistema **EASY CLICK MAGNUM** viene inserito a mano ad una estremità, mentre il secondo blocco (con all'interno l'altra boccola di serraggio) viene avvicinato e spinto sino a chiusura al primo blocco (si simula la condizione di montaggio del concio in galleria con il connettore come elemento di connessione tra conci di anelli adiacenti).

EASY CLICK MAGNUM

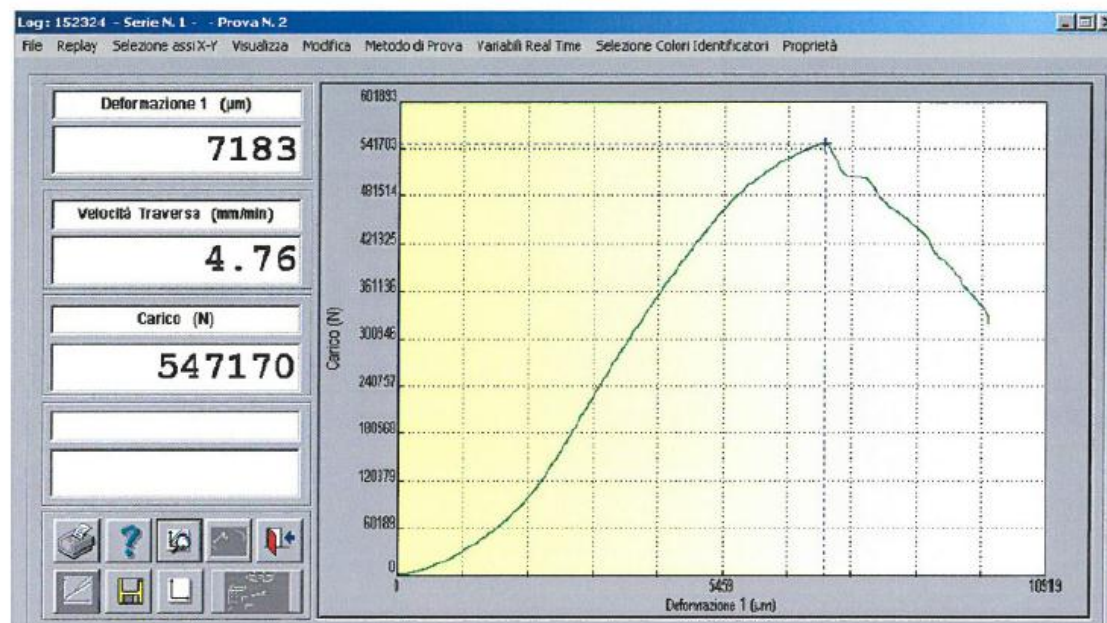
IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

L'attrezzatura di presa applica una sollecitazione di taglio puro sul connettore **EASY CLICK MAGNUM** con un martinetto elettromeccanico da 1000 kN.

Il test viene eseguito in controllo di spostamento, imponendo al martinetto di avanzare alla velocità di 4,76 mm/min.

RISULTATO DEL TEST



Max valore di taglio è 547 kN.

I dati descritti sono stati estrapolati dal report tecnico n.152347 datato Ottobre 2015 (shear test) eseguito e redatto dal Laboratorio Prove Materiali del Laboratorio EXOVA di Limena (PD).

EASY CLICK MAGNUM



ALLEGATO B – Sistema di connessione trasversale – Bulloni in acciaio

IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

BULLONI in acciaio e rivestiti Sistema di connessione per conci

IMPRESERVICE Srl produce *bulloni in acciaio* e *bulloni in materiale composito*.



BULLONI IN ACCIAIO

IMPRESERVICE Srl produce *bulloni in acciaio* seguendo le specifiche tecniche e prestazionali dettate da Capitolato progettuale ed applica finiture/trattamenti superficiali e termici ad hoc in base alle richieste del Cantiere.

IMPRESERVICE Srl testa e verifica l'affidabilità e la qualità dei propri prodotti eseguendo in-house test (in Fabbrica) ed affidando spot-test a Laboratori Qualificati ed Enti Indipendenti, esterni e Certificati (IMPRESERVICE invia ai Clienti il risultato dei test e la documentazione redatta dai Laboratori ed Enti stessi).

IMPRESERVICE Srl utilizza attrezzature e macchinari di ultima generazione per testare i materiali e simulare le reali condizioni di esercizio dei prodotti stessi.

IMPRESERVICE – BULLONI in acciaio e rivestiti_Galleria Santa Lucia



IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

BULLONI IN MATERIALE COMPOSITO (PLASTIC COATING BOLTS)

La necessità e la richiesta di garanzia a lungo termine all'abrasione ed alla corrosione hanno condotto allo studio ed alla produzione di **bulloni in acciaio con rivestimento in materiale composito (PA6+FV)**, di spessore 4 mm circa lungo lo stelo e la parte filettata del bullone.

La testa esagonale viene protetta da un rivestimento in materiale composito di circa 6 mm di spessore.

Il tipo di acciaio utilizzato (C40 e C45) è destinato al trattamento di bonifica e rappresenta un buon compromesso tra le caratteristiche di resistenza e tenacità.

Le proprietà del nylon fanno risaltare i vantaggi del suo utilizzo in combinazione con le caratteristiche delle fibre di vetro addizionate :



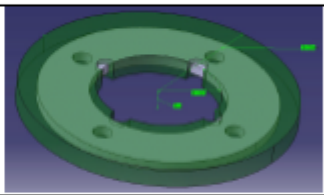
- ❖ le ottime caratteristiche meccaniche
- ❖ l'elevato modulo elastico
- ❖ la durezza e la resistenza all'abrasione del nylon (dovute ai legami a idrogeno intra- ed inter- molecolari per la presenza di gruppi CONH)
- ❖ la tenacità del nylon stesso (dovuta ai gruppi amminici polari)
- ❖ l'alta resistenza meccanica e la resilienza delle fibre di vetro

Queste peculiarità garantiscono campi diversificati di applicazione dei nostri bulloni.

Da sottolineare inoltre che la qualità dielettrica del rivestimento plastico esalta l'utilizzo dei nostri bulloni nel campo ferroviario (traversine ferroviarie) e nel campo civile (ancoraggio di strutture).

RONDELLE in acciaio ed in materiale composito

IMPRESERVICE Srl produce **rondelle in acciaio**, **rondelle in materiale plastico** ed anche **rondelle in acciaio con rivestimento in materiale composito (PA6+FV)**.

| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Rondella in acciaio | Rondella in plastica | Rondella rivestita |
| Dim. 70x31x4 (5) mm | Dim. 70x31x5 mm | Dim. 70x31x5 mm |
| Dim. 60x28x4 (5) mm | | |

IMPRESERVICE – BULLONI in acciaio e rivestiti_Galleria Santa Lucia



IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

DIMENSIONE DEI BULLONI

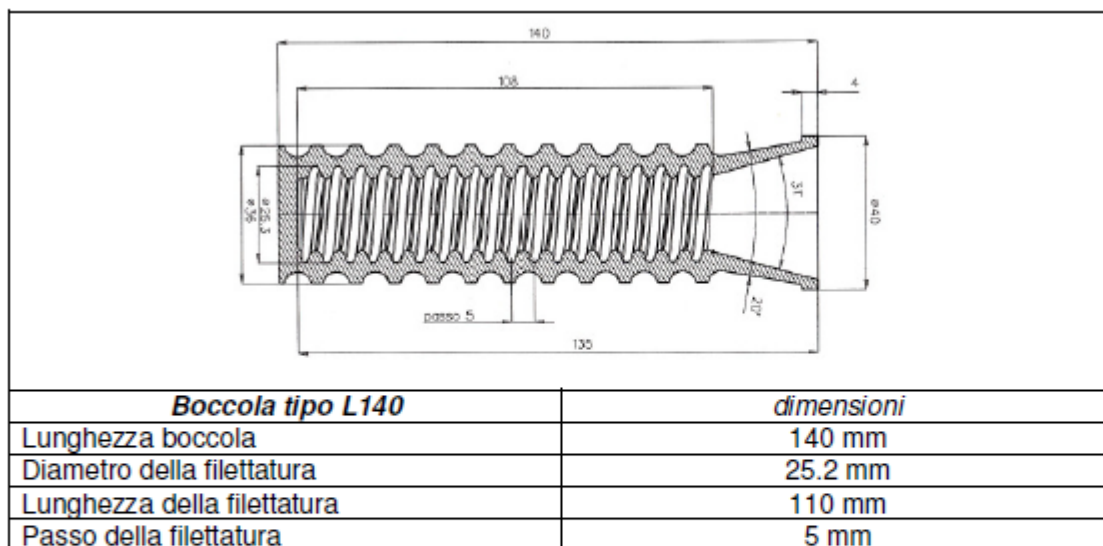
| | <i>dimensioni</i> |
|--|-----------------------|
| Diametro stelo (<i>bulloni in acciaio</i>) | 22 mm – 25 mm |
| Diametro stelo (<i>bulloni in acciaio rivestiti</i>) | 24 mm – 27 mm |
| Lunghezza stelo | 150 mm minimum |
| Passo della filettatura | 5 mm – 6 mm – 12.5 mm |

IMPRESERVICE Srl è disponibile a studiare e realizzare soluzioni ad hoc su richiesta dei Cantieri.

BOCCOLE per bulloni

Le boccole dei bulloni sono realizzate con materiali compositi (PA6+FV).

Il design del corpo della boccola garantisce uno speciale ancoraggio nel calcestruzzo:
lo svaso alla testa della boccola favorisce il centraggio e l'avvitamento del bullone all'interno della boccola.

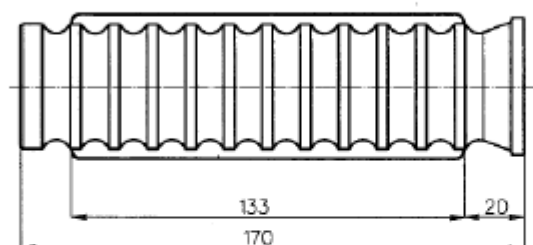


IMPRESERVICE – BULLONI in acciaio e rivestiti_Galleria Santa Lucia



IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it



| Boccola tipo L170 | dimensioni |
|-----------------------------|-------------------|
| Lunghezza boccola | 170 mm |
| Diametro della filettatura | 28.2 mm |
| Lunghezza della filettatura | 150 mm |
| Passo della filettatura | 6 mm |

IMPRESERVICE Srl è disponibile a studiare e realizzare soluzioni ad hoc su richiesta dei Cantieri.

Bulloni in acciaio, Bulloni rivestiti in material composito (Plastic Coating Bolts) e Boccole per bulloni realizzati da IMPRESERVICE Srl sono *'made in Italy'*: questo garantisce elevata precisione, affidabilità e qualità seguendo tutto il processo produttivo a partire dalla materia prima.

IMPRESERVICE Srl ha maturato una particolare esperienza nel settore del rivestimento delle gallerie : ricerca, sviluppo e produzione di nuovi sistemi di connessione e centraggio per conci prefabbricati rappresentano il punto focale della Società.

IMPRESERVICE Srl ha sempre unito la ricerca di materiali ad elevate prestazioni con le richieste specifiche dei Cantieri, garantendo semplicità di esecuzione, affidabilità e sicurezza.

La Società si affida inoltre a Laboratori Indipendenti ed Enti Certificatori per eseguire i test sui materiali e sui sistemi completi.

Il ventaglio di soluzioni proposte da IMPRESERVICE Srl e la sua continua versatilità nello studio di innovazioni sono state gratificate da importanti referenze in Italia ed all'estero con primari Contractors (tra cui Acciona, Astaldi, Cossi Costruzioni, FCC, Ferrovial Agroman, Ghella, Gulermak, Salini Impregilo, Seli, Shapir, Società Italiana per Condotte Acqua, Toto Costruzioni) ed Amministrazioni Pubbliche (ANAS, Autostrade per l'Italia e Province Autonome).

IMPRESERVICE – BULLONI in acciaio e rivestiti_Galleria Santa Lucia



IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

Fornitura di IMPRESERVICE Srl : **BULLONI in acciaio**

Progetto : **GALLERIA SANTA LUCIA**

Contractor : **PAVIMENTAL SpA**



| | |
|--|------------------------|
| | <i>caratteristiche</i> |
| BULLONE in acciaio | classe C45 |
| Finitura / trattamento anti-corrosione | galvanizzazione |
| Diametro stelo | 25 mm |
| Lunghezza stelo | 630 mm |
| Testa esagonale | 36 mm |
| Diametro filettatura | 28.2 mm |
| Lunghezza filettatura | 145 mm |
| Passo della filettatura | 6 mm |
| | |
| RONDELLA in acciaio | |
| Finitura / trattamento anti-corrosione | galvanizzazione |
| Diametro interno | 31 mm |
| Diametro esterno | 70 mm |
| Spessore | 5 mm |
| | |
| BOCCOLA tipo L170 | PA6+FV |
| | dim. 28 x 170 mm |

IMPRESERVICE – BULLONI in acciaio e rivestiti_Galleria Santa Lucia



IMPRESERVICE SRL
Via G. Galilei, 49
35035 – Mestrino (PD)
P.I. 03495060281

T. +39 049 9004646
F. +39 049 9007780
www.impreservicesrl.it
info@impreservicesrl.it

Fornitura di IMPRESERVICE Srl: **BULLONI in acciaio RIVESTITI**

Progetto : **GALLERIA SANTA LUCIA**

Contractor : **PAVIMENTAL SpA**



| | <i>caratteristiche</i> |
|--|------------------------|
| BULLONI in acciaio RIVESTITI | classe C45 |
| Finitura / trattamento anti-corrosione | PA6+FV |
| Diametro stelo | 27 mm |
| Lunghezza stelo | 630 mm |
| Testa esagonale | 36 mm |
| Diametro filettatura | 28.2 mm |
| Lunghezza filettatura | 155 mm |
| Passo della filettatura | 6 mm |
| | |
| RONDELLA in plastica | PA6+FV |
| Diametro interno | 31 mm |
| Diametro esterno | 70 mm |
| Spessore | 5 mm |
| | |
| BOCCOLA tipo L170 | PA6+FV |
| | dim. 28 x 170 mm |

IMPRESERVICE – BULLONI in acciaio e rivestiti_Galleria Santa Lucia



ALLEGATO C – Sistema di connessione trasversale – Bulloni in acciaio – Pull-Out Test



CTR Srl
Unipersonale
Via del Santo 211
35010 Limena (PD)
Italy

RPR N° 151283 Rev.0 Data 05/06/2015

T: +39 049 610 400
F: +39 049 610 539
E: padova@exova.com
W: www.exova.com



Pag 1 di 3

Cliente
Client

IMPRESERVICE SRL
VIA G. GALILEI, 49
35035 MESTRINO (PD)
ITALY

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------|
| Vs. Rif. <i>Your Ref.</i> | - | Ordine n. <i>Order n.</i> | Verbale | Data: <i>Date:</i> | 05/06/2015 |
| Ns. Rif. <i>Our Ref.</i> | - | Commessa <i>Job</i> | 151283 | Data: <i>Date:</i> | 05/06/2015 |

Note:
Remarks:

Progetto:
Project: Connection sistem

Norme di collaudo
Standard reference Customer request

Il presente report comprende n°3 pagine compresa questa cover e quelle di seguito descritte:
This Report is made of n° 3 pages including this cover plus the following pages:

| Prova <i>Test</i> | Pag. <i>Pag.</i> |
|--------------------------------|----------------------------|
| Prova di estrazione / Pull-out | 2 |
| Grafico di prova/ Graphic test | 3 |
| - | - |
| - | - |

Il presente Rapporto di Prova (RPR) comprende i risultati dei test eseguiti sui seguenti materiali:
This Report (RPR) contains tests results for the following materials:

| Rif. <i>Ref.</i> | Identificazione <i>Identification</i> | Materiale dichiarato dal cliente <i>Material declared by client</i> | DN <i>[mm]</i> | Colata <i>[heat]</i> | Note <i>Remarks</i> |
|----------------------------|---|---|----------------------------|----------------------------------|---|
| MIF 27126 | D25 | Sistema di connessione tra bullone in acciaio C45 e boccia in nylon fibrato | 25 | - | Stelo Ø 25, rullatura Ø 28,2 passo 6mm su boccia L=170mm filettatura interna 28,2x150 |

| Responsabile di Laboratorio / <i>Lab Manager</i> | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector | |
|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| C.T.R. Srl Dott. ClAUDIO TOLDO Unipersonale Gruppo EXOVA | | | | |

Condizioni generali:

1. Il committente si impegna a sottostare alle condizioni generali e tariffe stabilite dal Laboratorio per l'esecuzione delle prove.
2. I risultati delle prove verranno comunicati solo tramite rapporto di prova, salvo diversi accordi contrattuali.
3. Il materiale testato verrà inviato a smaltire dopo almeno 30 giorni dalla prova stessa, salvo diversa richiesta scritta del Committente.
4. Il materiale residuo di lavorazione verrà inviato a smaltire dopo almeno 3 mesi dal ricevimento, salvo diversa richiesta scritta del Committente.
5. I risultati riportati nel seguente rapporto di prova si riferiscono ai soli oggetti provati citati nel presente.
6. La data ricevimento materiale corrisponde alla data di apertura commessa, salvo diversa informazione.
7. Il laboratorio ha esaminato i materiali forniti dal cliente come campionati dal medesimo in accordo agli standard richiesti.
8. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, senza previa autorizzazione scritta del Laboratorio emittente.

| | | | |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|
| Issue No: 02 | Issue Date: 07/04/2010 | Review No: 03 | Review Date: 01/03/2015 |
| MODS-PDR1E2 | | | |

| | | | |
|--------------------------------------|--|----------------------------------|----------|
| Descrizione prova/test description: | PROVA DI ESTRAZIONE <i>Pull-out Test</i> | | |
| Metodo di Prova/Test method: | - | | |
| Strumentazione/Equipment: | 963 | | |
| Inizio prova # / initial test date : | 05/06/15 | Fine prova # / final test date : | 05/06/15 |


RISULTATI DELLA PROVA / TEST RESULTS

[illegible]

| | |
|--|-----------------------|
| Norma di riferimento: Standard ref. | SPECIFICA DEL CLIENTE |
|--|-----------------------|

| | |
|---------------------------------------|---|
| <p>Note Remarks</p> | <p>RT: Temperatura ambiente/ Room Temperature L: Longitudinale in Materiale Base / Longitudinal on Base Metal</p> <p>- Velocità di prova basata su una velocità di separazione degli afferraggi (v=5 mm/min.) Speed of test after the based on a speed of separation of the grips (v=5 mm/min.)</p> |
|---------------------------------------|---|

| | | | |
|-------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Operatore / Operator | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector |
| Dott. Ing. Mauro ISCARO | | | |


 0.77 Srl
 Unipersonale
 Gruppo EXOVA



CTR Srl
Unipersonale
Via del Santo 211
35010 Limena (PD)
Italy

RPR N° 151283 Rev.0 Data 05/06/2015

T: +39 049 610 400
F: +39 049 610 539
E: padova@exova.com
W: www.exova.com



Pag 3 di 3

GRAFICO DI PROVA / Graphic test

| Riferimenti Ref. | |
|---------------------|--------|
| Lab. | Client |
| MIF 27126 | D25 |



Norma di riferimento: SPECIFICA DEL CLIENTE
Standard ref.

Note
Remarks

RT: Temperatura ambiente/ Room Temperature

- Velocità di prova basata su una velocità di separazione degli afferraggi (v=5 mm/min.)
Speed of test after the based on a speed of separation of the grips (v=5 mm/min.)

| | | | |
|---|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Operator / Operatore | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector |
| Dott. Ing. Mauro ISCARO | | | |
| CTR Srl Unipersonale Gruppo EXOVA | | | |

ALLEGATO D – Sistema di connessione trasversale – Bulloni in acciaio – Shear Test



CTR Srl
Unipersonale
Via Visco 7/A
35010 Limena (PD)
Italy

RPR N° 161405 Rev.0 Data 27/05/2016

T: +39 049 610 400
F: +39 049 610 539
E: paclova@exova.com
W: www.exova.com



Pag 1 di 5

liente
Client

IMPRESERVICE SRL

VIA G. GALILEI, 49
35035 MESTRINO (PD)
ITALY

Vs. Rif.
Your Ref.
Ns. Rif.
Our Ref.

Ordine n.
Order n.
Commissa
Job

Letter
161405

Data: 26/05/2016
Date: 26/05/2016

Note:
Remarks:

Progetto:
Project:

Norme di collaudo
Standard reference

CUSTOMER REQUEST

Il presente report comprende n°5 pagine compresa questa cover e quelle di seguito descritte:
This Report is made of n° 5 pages including this cover plus the following pages:

Prova
Test

Prove di taglio / Shear tests

Documentazione fotografica/ Photographic documentation

Grafico di prova/ Graphic test

Pag.
Pag.
2
3
4,5
-

Il presente Rapporto di Prova (RPR) comprende i risultati dei test eseguiti sui seguenti materiali:
This Report (RPR) contains tests results for the following materials:

| Rif. Ref. | Identificazione Identification | Materiale dichiarato dal cliente Material declared by client | DN [mm] | Thk. [mm] | Note Remarks |
|--------------|-----------------------------------|---|--------------|----------------|---|
| MIF 36062 | Tondo 1 - D25 | Bullone in acciaio trafilato C45 EN 10277 | 25,0 | - | LOT N° 55002484 - 1151045806/10 DEL 15/04/2015 |
| MIF 36063 | Tondo 2 - D25 | Bullone in acciaio trafilato C45 EN 10277 | 25,0 | - | LOT N° 55002484 - 1151045806/10 DEL 15/04/2015 |

| Responsabile di Laboratorio / Lab Manager | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector | |
|---|------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Dott. Gianluigi TOLDO CTR Srl Unipersonale Via Visco 7/A 35010 Limena (PD) Italy | | | | |

Condizioni generali:

1. Il committente si impegna a sottostare alle condizioni generali e tariffe stabilite dal Laboratorio per l'esecuzione delle prove.
2. I risultati delle prove verranno comunicati solo tramite rapporto di prova, salvo diversi accordi contrattuali.
3. Il materiale testato verrà inviato a smaltire dopo almeno 30 giorni dalla prova stessa, salvo diversa richiesta scritta del Committente.
4. Il materiale residuo di lavorazione verrà inviato a smaltire dopo almeno 3 mesi dal ricevimento, salvo diversa richiesta scritta del Committente.
5. I risultati riportati nel seguente rapporto di prova si riferiscono ai soli oggetti provati citati nel presente.
6. La data ricevimento materiale corrisponde alla data di apertura commessa, salvo diversa informazione.
7. Il laboratorio ha esaminato i materiali forniti dal cliente come campionati dal medesimo in accordo agli standard richiesti.
8. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, senza previa autorizzazione scritta del Laboratorio emittente.

| | | | |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|
| Issue No: 02 | Issue Date: 07/04/2010 | Review No: 03 | Review Date: 01/03/2015 |
| MOD5-POR1E2 | | | |

| | | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------|----------|
| Descrizione prova/Test description: | PROVA DI TAGLIO <i>Shear Test</i> | | |
| Metodo di Prova/Test method: | - | | |
| Strumentazione/Equipment: | 963 | | |
| Inizio prove il / initial test date : | 27/05/16 | Fine prova/end test date: | 27/05/16 |


RISULTATI DELLA PROVA / TEST RESULTS

| | | | | |
|-----------------------|------|---|---|---|
| Requisiti Required | Min. | - | - | - |
| | Max. | - | - | - |

[illegible]

| | |
|--|------------------|
| Norma di riferimento: Standard ref. | CUSTOMER REQUEST |
|--|------------------|

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| <p>Note Remarks</p> | <p>RT: Temperatura ambiente/ <i>Room Temperature</i> C: Provino cilindrico / <i>Cylindrical test piece</i> T: Trasversale in Materiale Base / <i>Transversal on Base Metal</i></p> | |
| | <p>- Velocità di prova basata su una velocità di separazione degli afferraggi (v=5 mm/min.) <i>Speed of test after the based on a speed of separation of the grips (v=5 mm/min.)</i></p> | |

| Operatore / Operator | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector |
|--|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dotti Ing. Mauro ISCARO  Gruppo ENOVA | | | |



CTR Srl
Unipersonale
Via Visco 7/A
35010 Limena (PD)
Italy

RPR N° 161405 Rev.0 Data 27/05/2016

T: +39 049 610 400
F: +39 049 610 539
E: padova@exova.com
W: www.exova.com



Pag 3 di 5

Documentazione fotografica/ Photographic documentation

| Lab. | Riferimenti Ref. | Client |
|-----------|---------------------|---------------|
| MIF 36062 | | Tondo 1 - D25 |

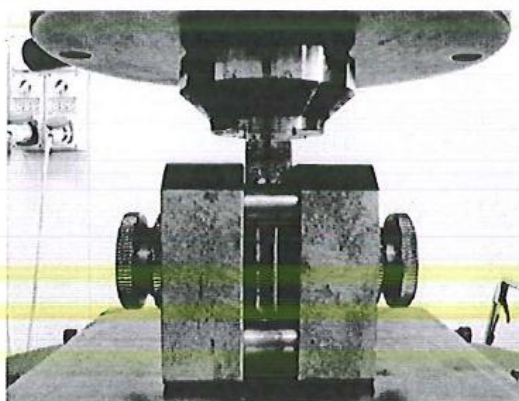


Photo n° 1): Particolare del campione durante la prova di taglio/ Sample during the shear test

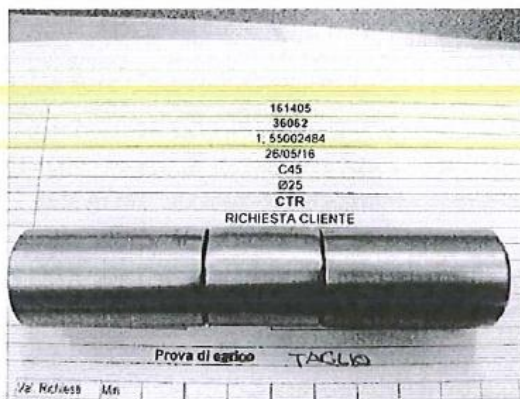


Photo n° 2): Particolare del campione a fine della prova di taglio /Sample after the shear test

| Operatore / Operator | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector |
|----------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dott. Ing. Mauro SCARO | | | |



CTR Srl
Unipersonale
Via Visco T/A
35010 Limena (PD)
Italy

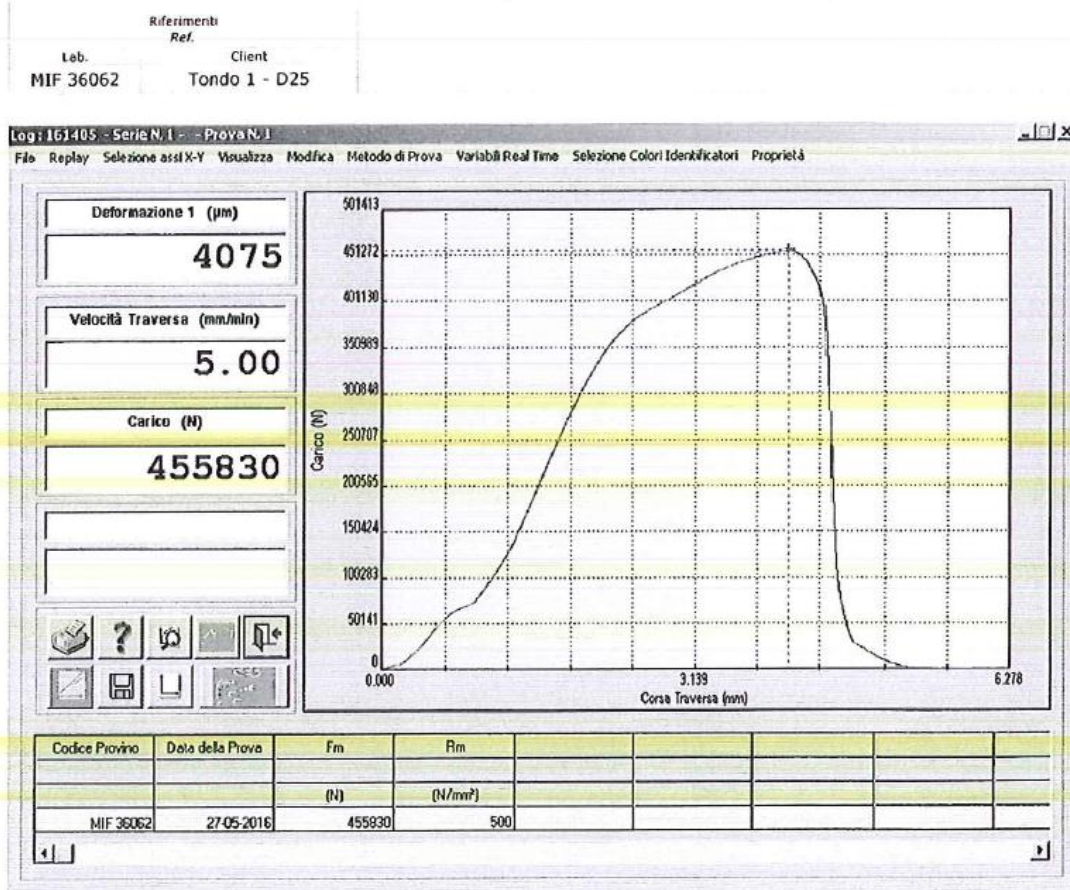
RPR N° 161405 Rev.0 Data 27/05/2016

T: +39 049 610 400
F: +39 049 610 539
E: padova@exova.com
W: www.exova.com



Pag 4 di 5

GRAFICO DI PROVA / Graphic test



Norma di riferimento: CUSTOMER REQUEST
Standard ref.

Note
Remarks
RT: Temperatura ambiente/ Room Temperature
- Velocità di prova basata su una velocità di separazione degli afferraggi (v=5 mm/min.)
Speed of test after the based on a speed of separation of the grips (v=5 mm/min.)

Operatore / Operator
Dott. Ing. Mauro ISCARO

Cliente / Client

Ispettore / Inspector

Ispettore / Inspector



CTR Srl
Unipersonale
Via Visco 7/A
35010 Limena (PD)
Italy

RPR N° 161405 Rev.0 Data 27/05/2016

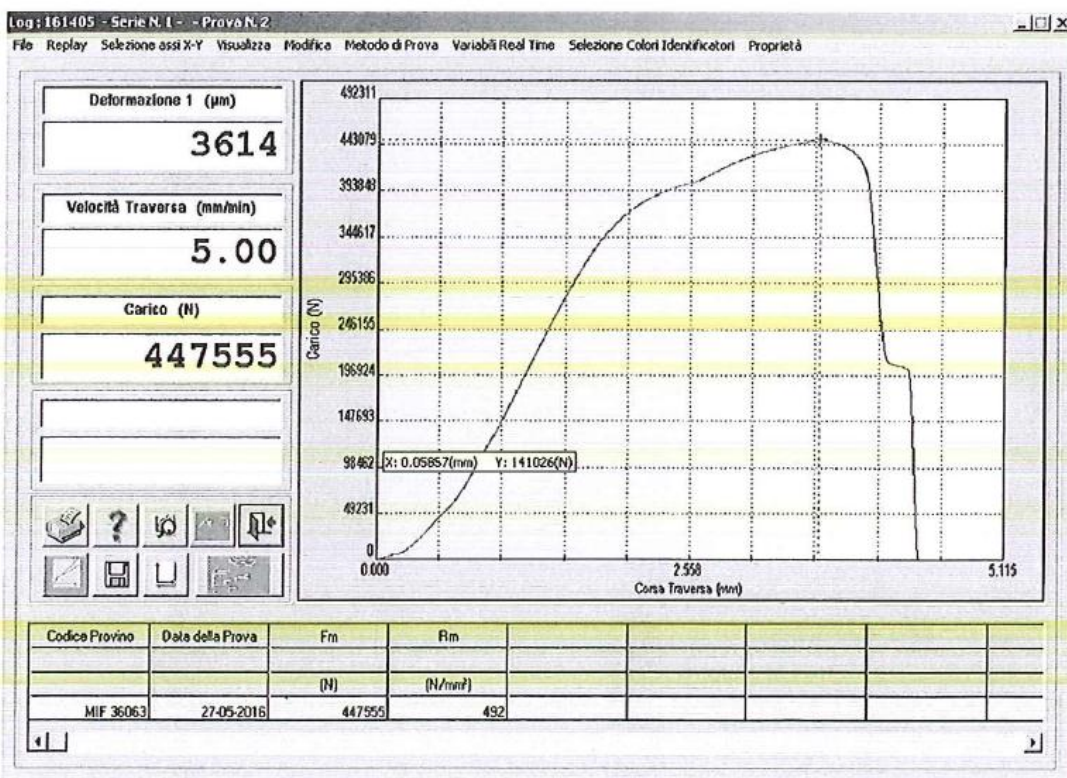
T: +39 049 610 400
F: +39 049 610 539
E: padova@exova.com
W: www.exova.com



Pag 5 di 5

GRAFICO DI PROVA / Graphic test

Riferimenti
Lab. Client
MIF 36063 Tondo 2 - D25

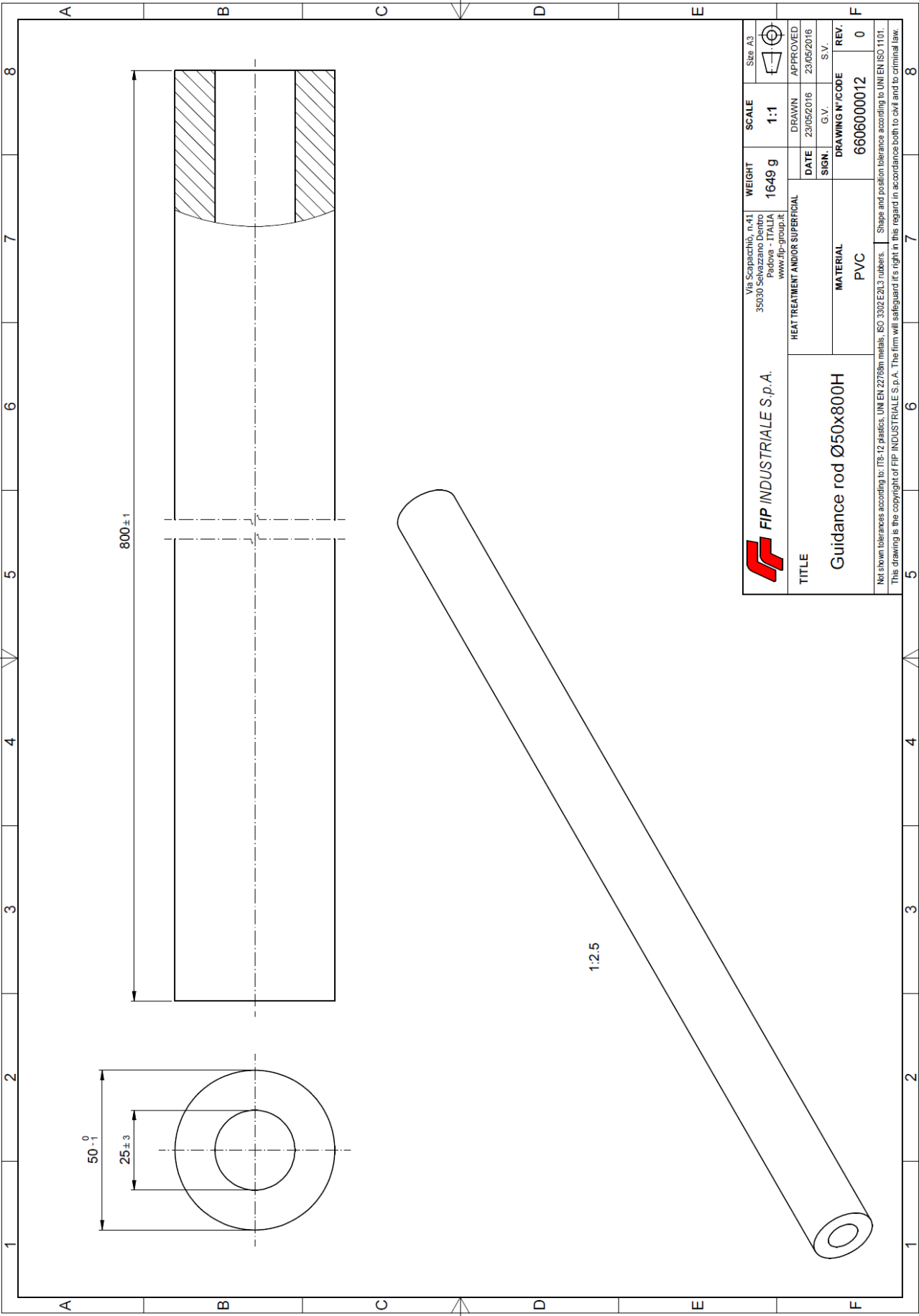


Norma di riferimento:
Standard ref. CUSTOMER REQUEST

Note
Remarks RT: Temperatura ambiente/ Room Temperature
- Velocità di prova basata su una velocità di separazione degli afferraggi (v=5 mm/min.)
Speed of test after the based on a speed of separation of the grips (v=5 mm/min.)

Operator / Operatore Dott. Ing. Mauro ISCARO
Cliente / Client
Ispettore / Inspector
Ispettore / Inspector
Gruppo EXOVA

ALLEGATO E – Barre guida



Barre Guida FIP

Sono prodotti sviluppati da FIP Industriale per l'assemblaggio di conci prefabbricati impiegati in tunnel di varie dimensioni. Composte in PVC riciclato, tali barre vengono installate con ottimi esiti in tutto il mondo.

Le barre guida contribuiscono in maniera efficace ad assicurare un accurato allineamento fra i conci nelle connessioni radiali del rivestimento. Aumentano la resistenza al taglio tra elementi adiacenti dello stesso anello. Permettono una riduzione dei tempi di assemblaggio favorendo una maggior produzione.

Proprietà, applicazione, imballaggio e stoccaggio

Resistenza al taglio, valori riferiti a una sezione lunga 100 mm:

| Ø Esterno | | Opzione A | Opzione B |
|-----------|---|-----------|-----------|
| Ø 25mm | > | 15 kN | 22 kN |
| Ø 30mm | > | 21 kN | 27 kN |
| Ø 35mm | > | 25 kN | 32 kN |
| Ø 38mm | > | 25 kN | |
| Ø 40mm | > | 25 kN | |
| Ø 50mm | > | 25 kN | |
| Ø 60mm | > | 35 kN | |
| Ø 65mm | > | 35 kN | |

Il colore può variare a seconda del lotto di produzione

Peso specifico ≈ 1,4

Le barre guida vanno incollate nella loro apposita cava. FIP Industriale, con la sua esperienza nel settore chimico, può fornire un apposito adesivo per il loro incollaggio al calcestruzzo.

Le barre vengono fornite su normali palette fissate attraverso reggette o con l'ausilio di supporti in legno.

Lo stoccaggio non è particolarmente delicato, sebbene l'esposizione a climi estremi sia da evitare.

La barra guida in offerta è da considerarsi di tipo "A" se non esplicitato in maniera diversa.

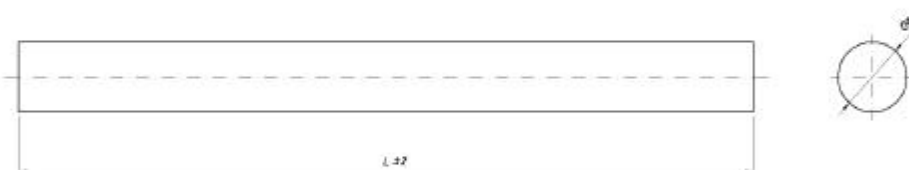
Descrizione geometrica

Le barre guida sono disponibili nei diametri elencati in tabella. L'opzione B non prevede il diametro interno, la sezione è piena. Vengono fornite avendo la lunghezza desiderata e prevista dalle specifiche di progetto. FIP Industriale è in grado di fornire anche barre con diametri esterni fuori standard.

Option A

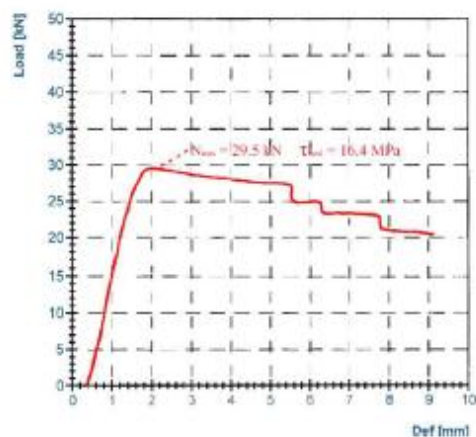


Option B



Prova di taglio

Le prove sono eseguite su macchine DARTEC M 2501/9500/600 oppure GALDABINI PMC/300. Per riprodurre nei limiti del possibile le situazioni di cantiere, i campioni vengono inseriti su apposita struttura di metallo.



Tipico grafico prova di taglio su barre campione

ALLEGATO F – Guarnizione di tenuta idraulica



VP150/16 Rev.0

GUARNIZIONE T184A

Report riassuntivo requisiti di idoneità secondo Stuva recommendation 8/2005

| SU CAMPIONE DI MATERIALE | | TIPO DI PROVA | RIFERIMENTO METODOLOGIA | VALORE STUVA RICHIESTO | VALORE RILEVATO | DOCUMENTO | |
|--|---|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|---|-------|
| SU PROFILO | Durezza IRHD | | STUVA 5.1 - ISO 48 | Valore nominale 70±5 Sh/A | 69,5 Sh/A | Valori caratteristici del lotto di mescola utilizzato (#2825) | |
| | Resistenza alla rottura | | STUVA 5.2 - ISO 37 | ≥9 MPa | 9,6 MPa | | |
| | Allungamento a rottura | | STUVA 5.2 - ISO 37 | Classe di durezza | Allungamento alla rottura | | 279 % |
| | | | | 56-65 IRHD | ≥300 % | | |
| | | | | 66-75 IRHD | ≥200 % | | |
| | | | 76-85 IRHD | ≥175 % | | | |
| | Deformazione residua da pressione DRP 70°C per 22 ore | | STUVA 5.3 - ISO 815 | ≤25% | 25,0 % | | |
| | Resistenza all'ozono | | STUVA 5.4 - ISO1431-1 | Nessuna rottura | Nessuna rottura | | |
| | Invecchiamento termico 168h a 70°C: | | | | | | |
| | -Variazione di durezza | | STUVA 5.5 - ISO 48 | Da -5% a +8% | +5,0% | Test report UNI-PD 37606 VP124/16 Rev.0 | |
| -Variazione di resistenza alla rottura | | STUVA 5.5 - ISO 37 | Da -20% a +10% | +6,8% | | | |
| -Variazione di allungamento alla rottura | | STUVA 5.5 - ISO 37 | Da -30% a +10% | -25,0% | | | |
| SU PROFILO | Comportamento delle guarnizioni nella compressione | | STUVA 5.6.1 | Massima forza di reazione [kN/m] | Classe di pressione idraulica [bar] | 62 kN/m → 6/12 bar | |
| | | | | 20 ≤ F _{MAX} ≤ 40 | ≤ 2 | | |
| | | | | 30 ≤ F _{MAX} ≤ 55 | ≤ 4 | | |
| | | | | 40 ≤ F _{MAX} ≤ 70 | ≤ 6 | | |
| | | | 60 ≤ F _{MAX} ≤ 90 | ≤ 12 | | | |
| Rilassamento da compressione 3 mesi a 70°C | | STUVA 5.7 - ISO 3384 | ≤ 45 % di perdita di compressione | 44,4 % | Test report UNI-PD 37714 VP137/16 Rev.0 | | |
| Test sul limite di tenuta idraulica | | STUVA 5.9 | Tenuta | Tenuta | Test report UNI-PD 37746 VP138/16 Rev.0 | | |

13/10/2016

FIP INDUSTRIALE S.p.A.
 Dott. Ing. Samuele Invernizzi
 Direttore Laboratorio Prove e Collaudi

ALLEGATO G – Guarnizione di tenuta idraulica – Load/Displacement Test + Short term relaxation Test (STUVA)



UNIVERSA
UNIVERSIS
PATAVINA
LIBERTAS

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA UNIVERSITY OF PADUA

D.I.C.E.A.-DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Laboratorio Sperimentale per le Prove dei Materiali da Costruzione

D.C.E.A.E.-DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING
Strength of Materials and Structures Laboratory

Test Report N. 37606

Page 1/1

Submitted by: FIP INDUSTRIALE S.p.A. via Scapacchiò n. 41 – Selvazzano Dentro (PD)

Request: Received on June 09 and September 12, 2016 by the Testing Laboratory Manager of FIP INDUSTRIALE S.p.A, dated June 08 and September 09, 2016

Items: Gasket T184A Load vs. Displacement Test and Short Term Relaxation Test

Activity: Conformity verification of the contractual activities performed on the products and related to the testing operations in accordance with the contract specifications: STUVA Recommendations § 5.6.1
- The test sample was inserted into the alluminum grooved templates at ambient temperature, in order to impose a deformation in the T184A gasket. The apparatus was then inserted into the test bench. A preload of 100 N was applied. Next, the Load vs. Displacement Test began by applying the deformation with a constant speed of 50mm/min until the gap was equal to 0mm. After the Short Term Relaxation Test beginning, when the gap is 0mm, the deformation was hold for 5 minutes and the load was continually recorded. This test method applied for all offsets (0mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm)

TESTING ACTIVITY

FIP INDUSTRIALE S.p.A. has prepared the testing report VP124-16 dated September, 2016, composed by 15 pages in 3 official copies.

We declare that the test activities described in the above mentioned test report and carried out on the 21st June and 12th September, 2016 period were conducted according to the described procedure under the supervision of the “*Laboratorio Sperimentale per le Prove sui Materiali da Costruzione del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell’Università degli Studi di Padova*” (University of Padua, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Strength of Materials and Structures Laboratory) inspectors Mr. Ferroni, Mr. Montanari.

The above mentioned documentation is enclosed to this report and shall be considered as integral part of it for a total of 16 pages which is stamped with the *Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell’Università degli Studi di Padova* seal.

Padua – October 05, 2016

Head of Laboratory
(Prof. Carmelo Maiorana)




Head of Department
(Prof. Carlo Pellegrino)

The results refer to the items subjected to test. This report cannot be partially reproduced without written authorization from the University Laboratory and does not constitute a product certification.

Office: Via Marzolo, 11/A – 35131 Padova
Secretary: +39 049 827.56.07
c.f.: 80006480281 – p.i.: 00742430283

telefax +39 049 827.55.87
e-mail: labor@dic.unipd.it
web: <http://www.dic.unipd.it>

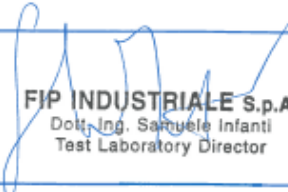
| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 124/16 |
| | | Page 1 of 15 |


| |
|---------------------|
| Gasket T184A |
|---------------------|

Load vs. Displacement Test
&
Short Term Relaxation Test



Our Ref. R1880&R1913 – Job Ord. 1AFD


| | | | | |
|-------------|-----------------------|-----------------|---|----------------|
| 0 | 1 st Issue | SC |  FIP INDUSTRIALE S.p.A. Dott. Ing. Samuele Infantì Test Laboratory Director | September 2016 |
| REV. | Description | PREPARED | APPROVED | DATE |

| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 124/16 |
| | | Page 2 of 15 |

LIST OF CONTENTS

| | |
|---------------------------------|---|
| 1 - INTRODUCTION | 3 |
| 2 - DEVICES UNDER TESTING | 3 |
| 3 - TEST EQUIPMENT | 3 |
| 4 - TEST METHOD | 3 |
| 5 - TEST RESULTS | 4 |
| 6 - SUPERVISION | 4 |
| 7 - ANNEXES | 4 |

FIP INDUSTRIALE
 Via S. Lucia 100
 00187 Roma (RM)

| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 124/16 |
| | | Page 3 of 15 |

1 - INTRODUCTION

The present report describes the procedure and provides the results of the Type Tests carried out on T184A gaskets, manufactured by FIP Industriale S.p.A.. The Load vs. Displacement tests were performed according to §5.6.1 of STUVA Recommendations, the method of Short Term Relaxation test is described in paragraph §5 to determinate the stiffness and relaxation characteristics of T184A.

2 - REFERENCE DOCUMENTS

- Drawing FIP identified as 6601000039 – (see annex A)
- STUVA (www.stuva.de) Recommendations §5.6.1: published in August 2005 with title "STUVA Recommendations for Testing and Application of Sealing Gaskets in segmental Linings"

3 – DEVICES UNDER TESTING

The samples under testing consisted in seven pairs of T184A segment (200mm length)

Three pairs of segments were used for test offset 0mm and one pair for each test offset, namely 5mm, 10mm, 15mm and 20mm.

4 – TEST EQUIPMENT

The T184A gasket was tested using the 600kN axial Test Rig (Dartec) with aluminium groove forms that are 200mm long and closed at the ends, to simulate the groove of a segmental ring.

The 600kN test rig is equipped with an servoactuator aligned along the main test rig axis.

The metrological chain was characterized by:

- Force is measured by a load cells with $\pm 600\text{kN}$ range,
- Displacement is measured by a encoder with 500mm range.

The transducers were connected to a controller and Zwick/Roell measuring system. The software DiaDem (NI) was used to process the data and plot the final graphs reported in Annex C.

5 – TEST METHOD

The test sample was inserted into the alluminum grooved templates (see Annex B), at ambient temperature, in order to impose a deformation in the T184A gasket.


The apparatus was then inserted into the test bench. A preload of 100 N was applied.

Next, the Load vs. Displacement Tests began by applying the deformation with a constant speed of 50mm/min until the gap was equal to 0mm (see STUVA Recommendations §5.6.1).

After the Short Term Relaxation Test beginning, when the gap is 0mm, the deformation was hold for 5 minutes and the load was continually recorded.

This test method applied for all offsets (0mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm).



| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 124/16 |
| | | Page 4 of 15 |

6 – TEST RESULTS

The test results are provided in Force vs. Displacement graph for the Load vs. Displacement Tests and in Force vs. Time for the Short Term Relaxation Test (see Annex B).

All force values are multiplied by a factor 5 in order to normalize the data to meter units.

The following table provides the main test results.

Table 2: Test results

| Sample | Offset [mm] | Force at Gap 0mm [kN/m] | Residual Force (after 5 min) [kN/m] | Residual Force [%] |
|---------------|-------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1 | 0 | 66 | 46 | 70 |
| 2 | 0 | 58 | 41 | 71 |
| 3 | 0 | 60 | 42 | 70 |
| 1 offset 5mm | 5 | 62 | 43 | 71 |
| 1 offset 10mm | 10 | 53 | 38 | 72 |
| 1 offset 15mm | 15 | 55 | 39 | 70 |
| 1 offset 20mm | 20 | 48 | 34 | 71 |

7 - SUPERVISION

The tests have been carried out at FIP Industriale Test Laboratory on the 21th June and 12th September, 2016, under the supervision of Mr. Alberto Montanari and Mr. Riccardo Ferroni of the State University of Padua Test Laboratory ("Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale. Laboratorio sperimentale per le prove sui materiali da costruzione").

8 - ANNEXES

ANNEX A – Drawing;

ANNEX B – Test equipment;

ANNEX C – Test Results;

ANNEX D – Photographs.

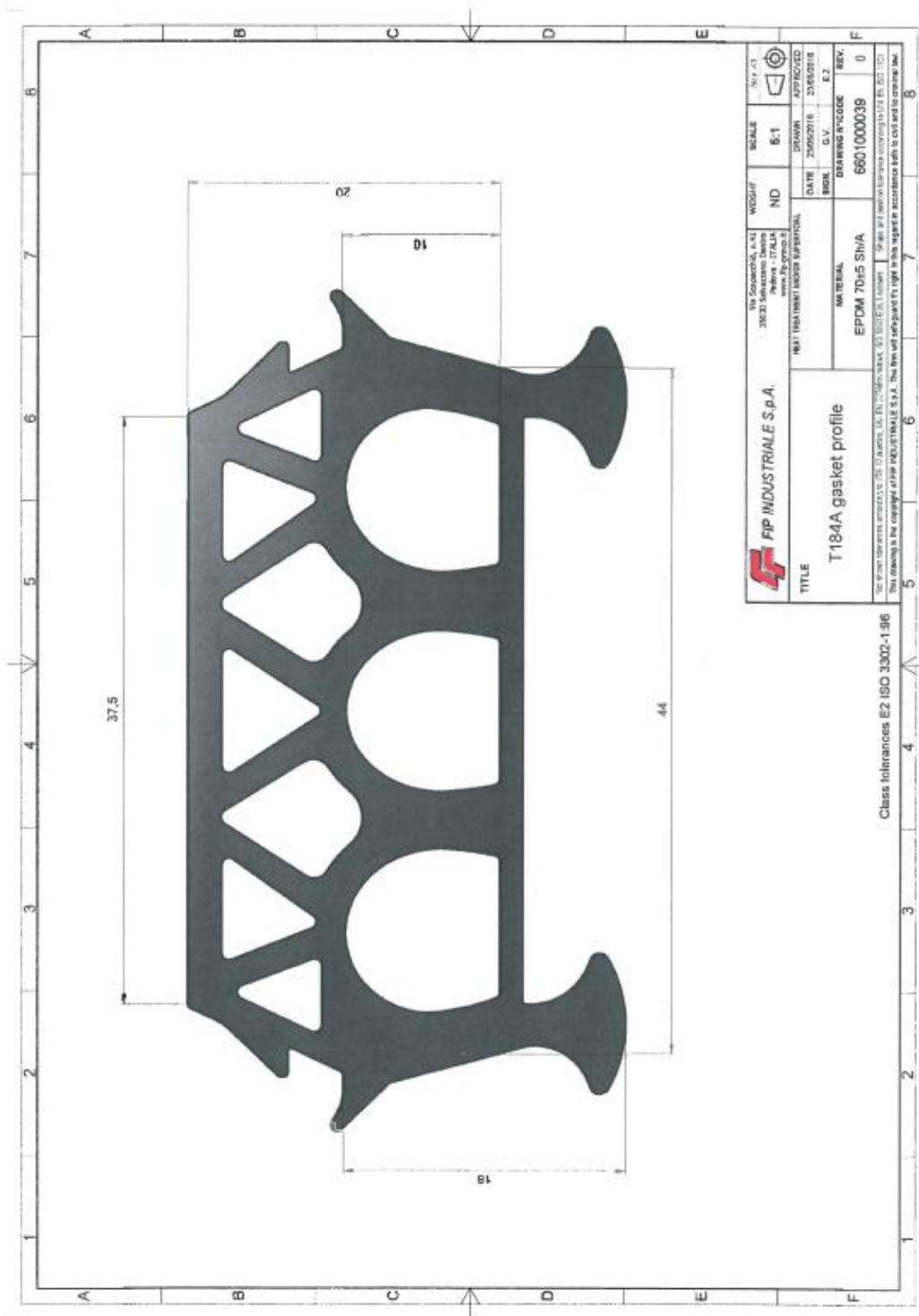
| | | |
|--|--|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY Drawing | VP 124/16 |
| | | Annex A Page 5 of 15 |

ANNEX A

Drawing

[Handwritten signature]





| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST EQUIPMENT | VP 124/16 |
| | | Annex B Page 7 of 15 |

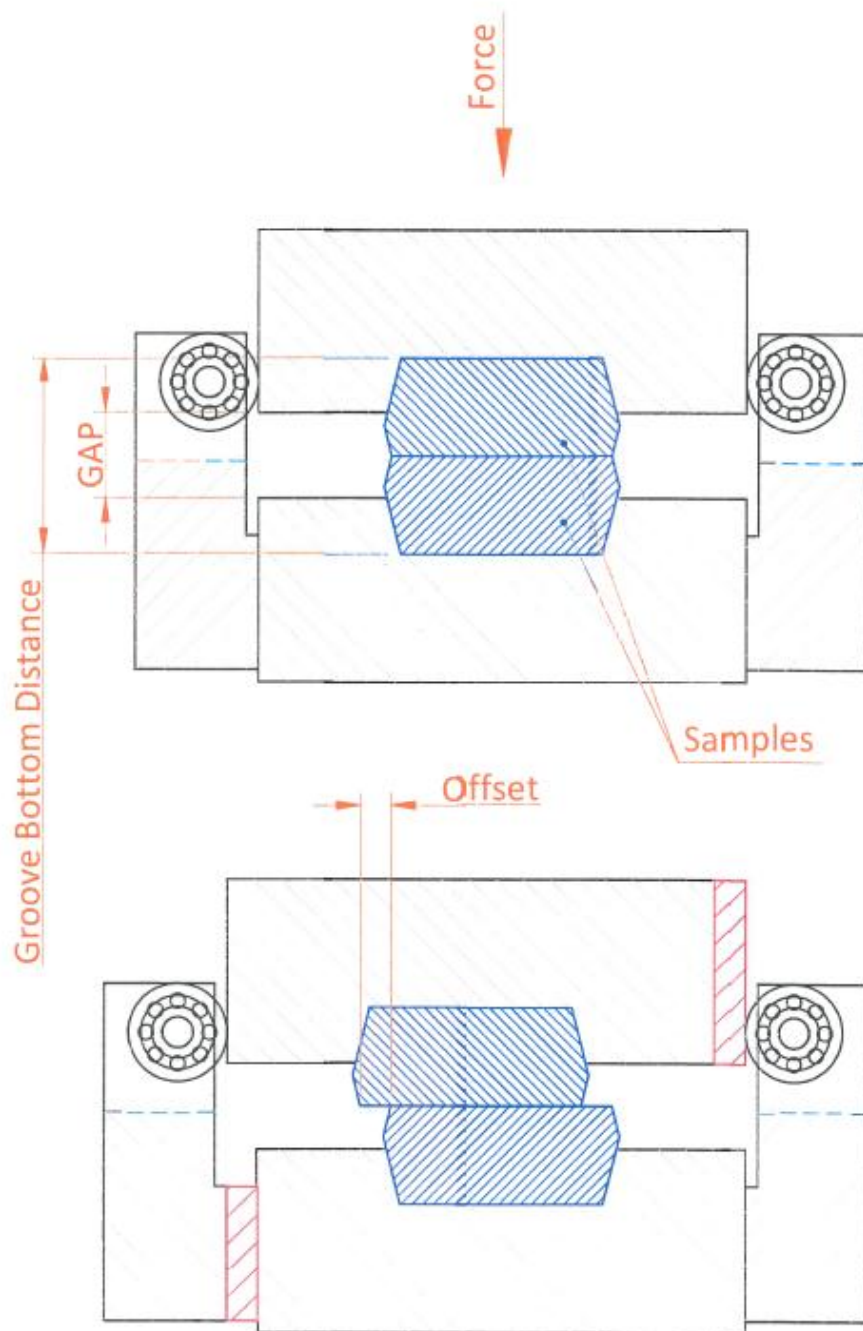
ANNEX B


Test equipment



Handwritten signature in blue ink.

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST EQUIPMENT | VP 124/16 |
| | | Annex B Page 8 of 15 |



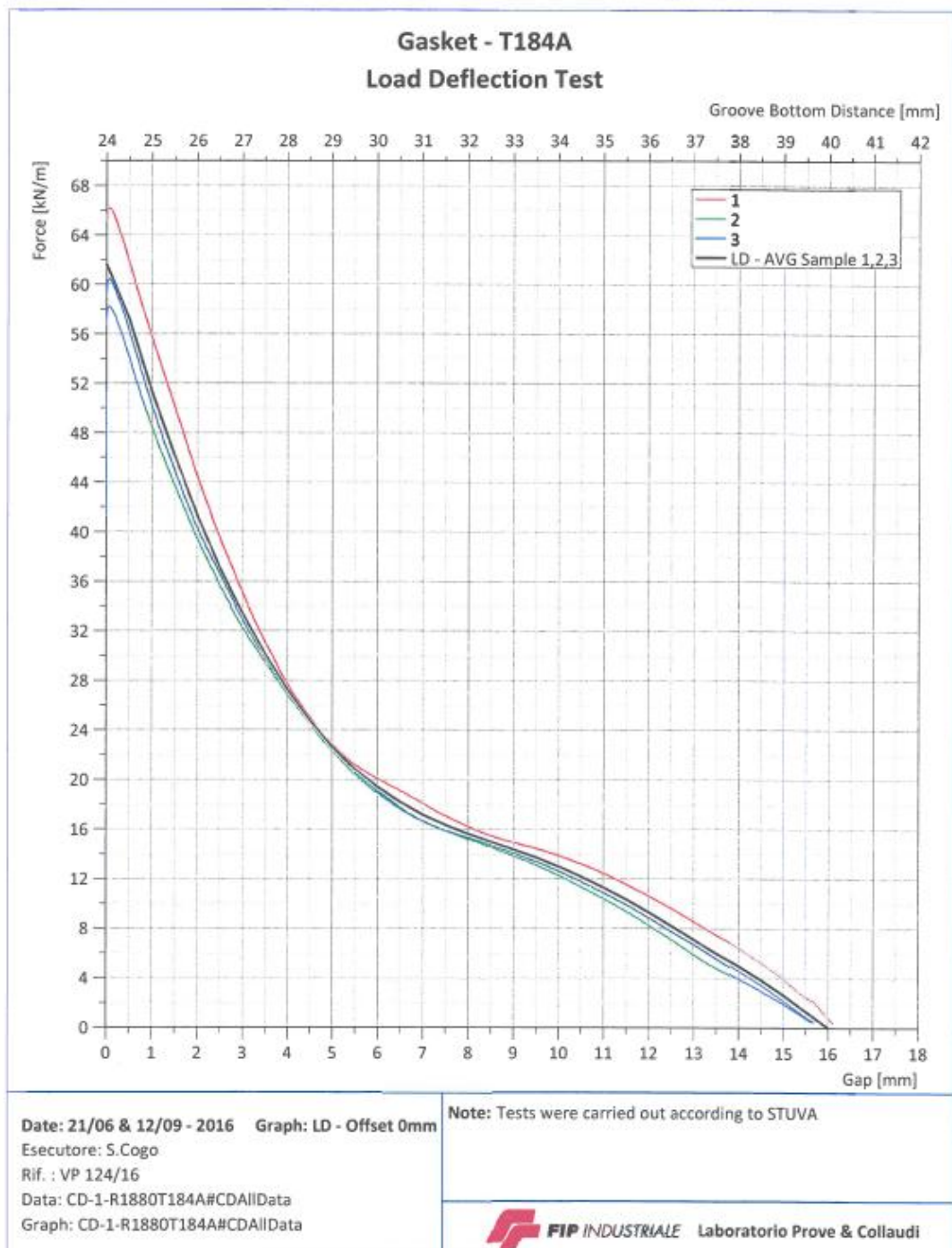
| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST RESULTS | VP 124/16 |
| | | Annex C Page 9 of 15 |

ANNEX C

Test Results

[Handwritten signature]







FIP INDUSTRIALE

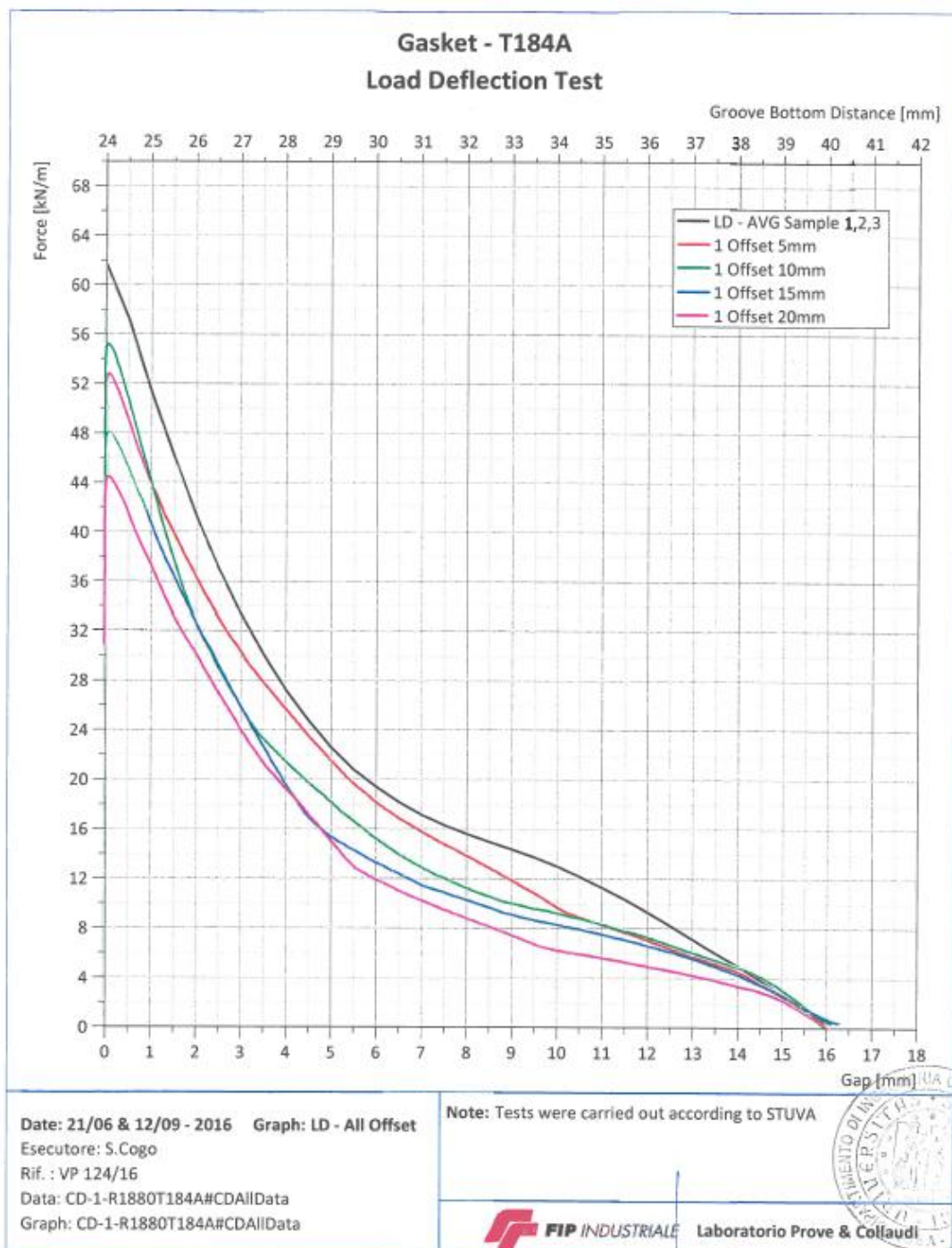
TEST LABORATORY

TEST RESULTS

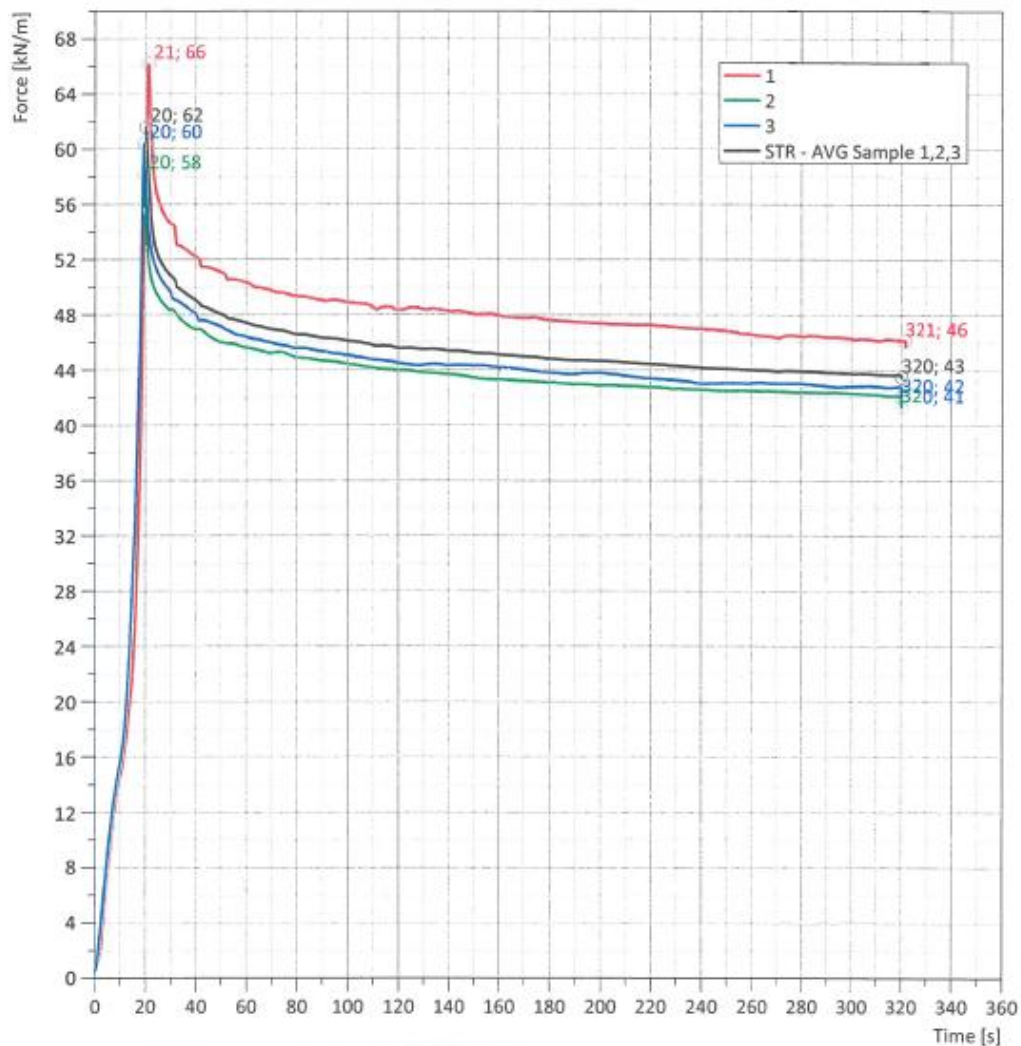
VP 124/16

Annex C

Page 11 of 15



Gasket - T184A
Short Term Relaxation Test

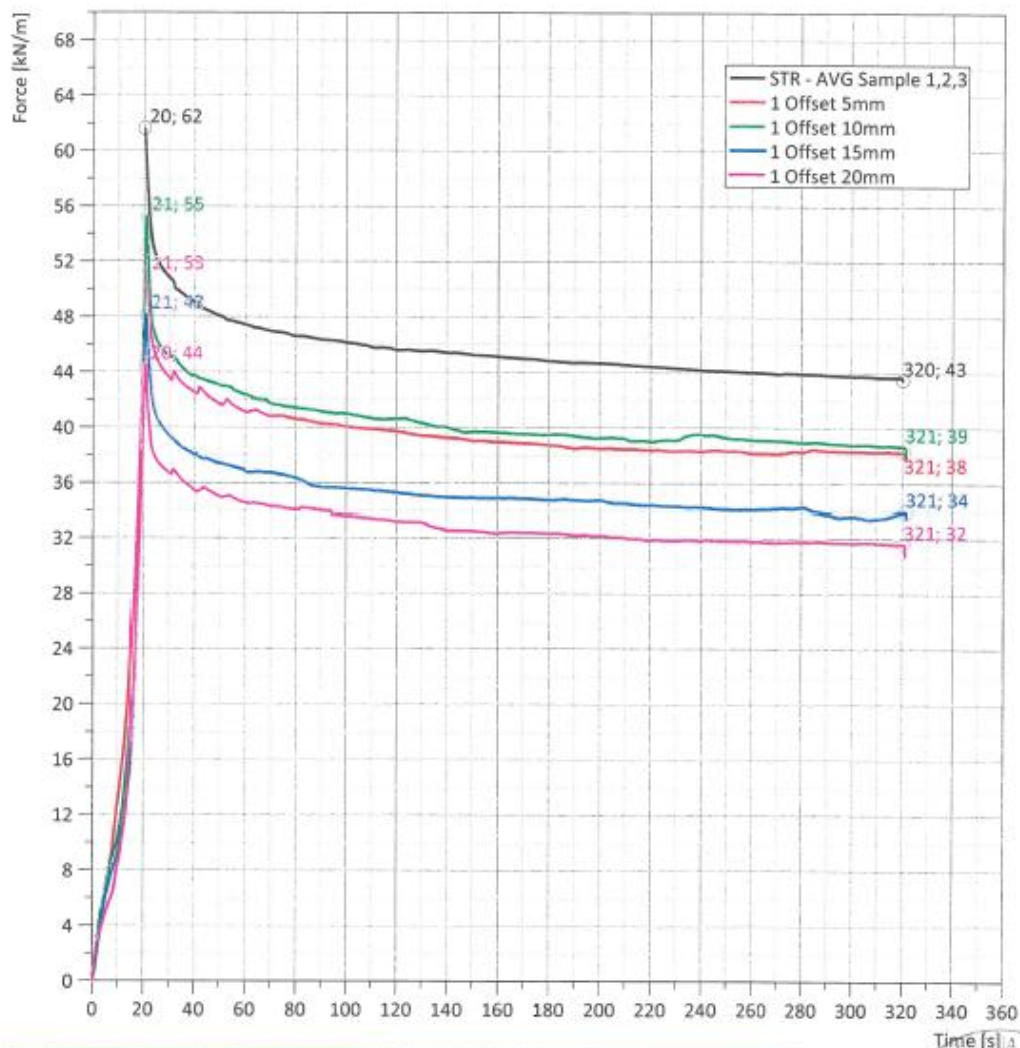


Date: 21/06 & 12/09 - 2016 Graph: STR - Offset 0mm
 Esecutore: S.Cogo
 Rif.: VP 124/16
 Data: CD-1-R1880T184A#CDAIIData
 Graph: CD-1-R1880T184A#CDAIIData

Note: Tests were carried out according to STUVA

Gasket - T184A

Short Term Relaxation Test




Date: 21/06 & 12/09 - 2016 Graph: STR - All Offset
 Esecutore: S.Cogo
 Rif. : VP 124/16
 Data: CD-1-R1880T184A#CDAIIData
 Graph: CD-1-R1880T184A#CDAIIData

Note: Tests were carried out according to STUVA


FIP INDUSTRIALE

Laboratorio Prove & Collaudi



| | | |
|--|--|--|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY PHOTOGRAPHS | VP 124/16 |
| | | <i>Annex D</i> <i>Page 14 of 15</i> |

ANNEX D

Photographs


| | | |
|--|--|--|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY PHOTOGRAPHS | VP 124/16 |
| | | Annex D Page 15 of 15 |



Photo 1: T184A Under Test at offset 0mm



Photo 2: T184A Under Test at offset 20mm



ALLEGATO H – Guarnizione di tenuta idraulica – Stress relaxation Test (STUVA)



UNIVERSA
UNIVERSIS
PATAVINA
LIBERTAS

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA UNIVERSITY OF PADUA

D.I.C.E.A.-DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Laboratorio Sperimentale per le Prove dei Materiali da Costruzione

D.C.E.A.E.-DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING
Strength of Materials and Structures Laboratory

Test Report N. 37714

Page 1/1

Submitted by: FIP INDUSTRIALE S.p.A. via Scapacchiò n. 41 - Selvazzano Dentro (PD)

Request: Received on June 09 and September 12, 2016 by the Testing Laboratory
Manager of FIP INDUSTRIALE S.p.A, dated June 08 and September 09, 2016

Items: Gasket T184A Stress Relaxation Test

Activity: Conformity verification of the contractual activities performed on the
products and related to the testing operations in accordance with the
contract specifications: STUVA Recommendations § 5.7.

The test sample was inserted into the aluminium groove forms, at
laboratory temperature of $27(\pm 2)^{\circ}\text{C}$. The test can be split into four
sequential steps: Conditioning, Zero Point, Accelerated Aging and Point
Measurement.

TESTING ACTIVITY

FIP INDUSTRIALE S.p.A. has prepared the testing report VP137-16 dated September, 2016,
composed by 14 pages in 3 official copies.

We declare that the test activities described in the above mentioned test report and
carried out on the 21st, 22nd, 24th, 28th of June and 5th, 12th, 21st of July and 19th of September,
2016, period were conducted according to the described procedure under the supervision
of the "Laboratorio Sperimentale per le Prove sui Materiali da Costruzione del
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di
Padova" (University of Padua, Department of Civil, Environmental and Architectural
Engineering, Strength of Materials and Structures Laboratory) inspector Mr. Montanari.
The above mentioned documentation is enclosed to this report and shall be considered as
integral part of it for a total of 15 pages which is stamped with the *Dipartimento di
Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova* seal.

Padua - October 05, 2016

Head of Laboratory
(Prof. ~~Carmelo~~ Maiorana)




Head of Department
(Prof. Carlo Pellegrino)

The results refer to the items subjected to test. This report cannot be partially reproduced without written
authorization from the University Laboratory and does not constitute a product certification.

Office: Via Marzolo, 11/A - 35131 Padova
Secretary: +39 049 827.56.07
c.f.: 8006480281 - p.i.: 00742430283

telefax: +39 049 827.55.87
e-mail: labor@dic.unipd.it
web: <http://www.dic.unipd.it>

| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 137/16 |
| | | Page 1 of 14 |


| |
|--------------------------------|
| Gasket T 184A |
|--------------------------------|

Stress Relaxation Test



Ref. R1880/R1913 - Comm. 1AFD

| | | | | |
|-------------|-----------------------|-----------------|---|----------------|
| 0 | 1 st Issue | SC | FIP INDUSTRIALE S.p.A. Dott. Ing. Samuele Infantì Test Laboratory Director | September 2016 |
| REV. | Description | PREPARED | APPROVED | DATE |

| | | |
|--|--|---------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 137/16 |
| | | Page 3 of 14 |

1 - INTRODUCTION

The present report describes the procedure and provides the results of the Type Tests carried out on gasket T184A, manufactured by FIP Industriale S.p.A.. The Stress Relaxation Investigation tests were performed according to §5.7 of STUVA Recommendations to determinate the long term relaxation characteristics of T184A.

2 - REFERENCE DOCUMENTS

- FIP industriale drawing 6601000039 – (see annex A)
- STUVA (www.stuva.de) Recommendations §5.7: published in August 2005 with title "STUVA Recommendations for Testing and Application of Sealing Gaskets in segmental Linings"
- ISO 3384: Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of stress relaxation in compression

3 – DEVICES UNDER TESTING

The sample under testing is a two pair segment of T184A enclosed in aluminium groove forms. Each segment is 100mm length and it used for 0mm test offset.

4 – TEST EQUIPMENT

The T184A was tested using an Instrumented Test Rig suitable to host aluminium groove forms that are 100mm long and closed at the ends, in order to simulate the groove of a segmental ring.

The Test Rig is a press machine equipped with two screws aligned along the main test rig axis to impose the force and displacement.

The metrological chain was characterized by:

Force is measured by two HBM C9B load cells with 2kN(#657) and 5kN(#658) range arranged in parallel mode.

Displacement is measured by two HBM WA20-T LVDT with 20mm range (#740,#741).

The transducers were connected to a measuring system HBM MGCplus. The software DiaDem was used to process the data and plot the final graphs reported in Annex C.


5 – TEST METHOD

The test sample was inserted into the aluminium groove forms (see Annex B), at laboratory temperature of $27(\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

The test can be split into four sequential steps: Conditioning, Zero Point, Accelerated Aging and Point Measurement.

- Conditioning: the sample was heated in an oven at 70°C for 3 hours then it was allowed to rest at laboratory temperature for 18 hours (see ISO 3384 §6.5.2). Afterwards, the sample was inserted into a Test Rig with displacement control, at laboratory temperature, in order to perform five cycles starting with a 14mm gap and reaching the $G_{70}=4.8\text{mm}$ test gap (see STUVA



| | | |
|--|--|---------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 137/16 |
| | | Page 4 of 14 |

Recommendations §5.7 for formula used to set the test gap). Then it was allowed to rest at laboratory temperature for 18 hours (see ISO 3384 §6.5.3).

- Zero Point: the sample was inserted into the Test Rig as indicated in §4 at laboratory temperature and the gap was set at $G_{70}=4.8\text{mm}$ test gap. When this value was reached, the screws of the aluminium groove forms were locked in this position in order to maintain the gap during the test procedure.

After one hour, at laboratory temperature, the gap was set at measurement gap ($G_{27}= G_{70}-0.5\text{mm}$) and the force from the load cell was recorded continuously for a period of not less than five minute.

Then the force is released, the sample returns to gap position G_{70} previously set using the screws in aluminium groove forms and finally it is removed from the Test Rig.

- Accelerated Aging: the sample was heated in an oven with a temperature control system at $70 (\pm 1)^{\circ}\text{C}$.
- Point Measurement: the sample is removed from the oven and then it is allowed to rest at laboratory temperature for 2 hours.

Then the sample is inserted into the Test Rig and the gap is set at G_{27} . The force is recorded continuously with the load cell for a period of not less than five minutes before unload.

After the sample is removed from the test rig, it is returned in the oven for the continuation of the Accelerated Aging step.

The Point Measurement was repeated after 3 hours, 1, 3, 7, 14, 21, 30, 90 day from the Zero Value step.

6 – TEST RESULTS

The test method was applied simultaneously on two samples named as “A” and “B”.

To residual force “ R_{AVG} ” is the average value of three points of the residual force calculated in correspondence of the Maximum Peak Force, after 60 seconds from peak and after 300 seconds from peak (see figure 1) for both samples A and B.

The result are given in table 1 and 2 and in the graph in annex C.

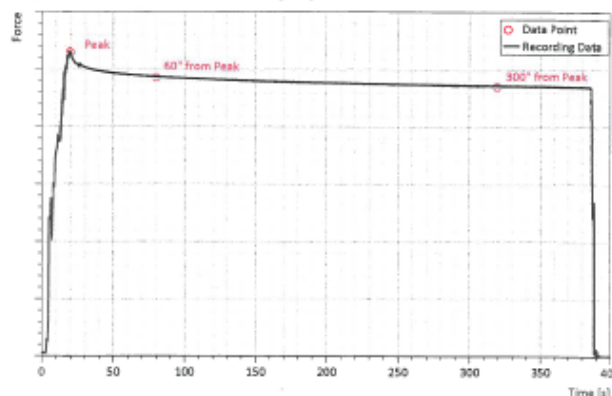


Figure 1: Data Point

Table 1: Data recording

| Sample A | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Value description | Zero value | | | After 3h | | | After 1d | | | After 3d | | |
| Type of Value | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak |
| Value [N] | 1786 | 1654 | 1600 | 1485 | 1378 | 1338 | 1344 | 1248 | 1206 | 1155 | 1087 | 1033 |
| Residual Force [%] | 100 | 100 | 100 | 83,1 | 83,3 | 83,6 | 75,3 | 75,5 | 75,4 | 64,7 | 65,7 | 64,6 |
| Hours | 0 | | | 3 | | | 24 | | | 72 | | |
| Date | 21/6/16 10:00 | | | 21/6/16 15:00 | | | 22/6/16 12:00 | | | 24/6/16 12:00 | | |

| After 14d | | | | After 21d | | | | After 30d | | | | After 90d | | | |
|--------------|---------------|----------------|------|---------------|----------------|------|---------------|----------------|------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|------|
| Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak |
| 1056 | 973 | 943 | 1032 | 958 | 944 | 1092 | 984 | 958 | 1000 | 923 | 898 | 1000 | 923 | 898 | 1000 |
| 59,1 | 58,8 | 58,9 | 57,8 | 57,9 | 59,0 | 61,1 | 59,5 | 59,9 | 56,0 | 55,8 | 56,1 | 56,0 | 55,8 | 56,1 | 56,0 |
| 336 | | | 504 | | | 720 | | | 2160 | | | 2160 | | | 2160 |
| 5/7/16 12:00 | | | | 12/7/16 12:00 | | | | 21/7/16 12:00 | | | | 19/9/16 12:00 | | | |


| Sample B | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Value description | Zero value | | | After 3h | | | After 1d | | | After 3d | | |
| Type of Value | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak |
| Value [N] | 1892 | 1736 | 1685 | 1534 | 1445 | 1409 | 1364 | 1287 | 1239 | 1230 | 1154 | 1105 |
| Residual Force [%] | 100 | 100 | 100 | 81,1 | 83,2 | 83,6 | 72,1 | 74,1 | 73,5 | 65,0 | 66,5 | 65,6 |
| Hours | 0 | | | 3 | | | 24 | | | 72 | | |
| Date | 21/6/16 10:00 | | | 21/6/16 15:00 | | | 22/6/16 12:00 | | | 24/6/16 12:00 | | |

| After 14d | | | | After 21d | | | | After 30d | | | | After 90d | | | |
|--------------|---------------|----------------|------|---------------|----------------|------|---------------|----------------|------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|------|
| Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak | 60° from Peak | 300° from Peak | Peak |
| 1112 | 1035 | 1013 | 1132 | 1032 | 1008 | 1127 | 1026 | 998 | 1045 | 960 | 929 | 1045 | 960 | 929 | 1045 |
| 58,8 | 59,6 | 60,1 | 59,8 | 59,4 | 59,8 | 59,6 | 59,1 | 59,2 | 55,2 | 55,3 | 55,1 | 55,2 | 55,3 | 55,1 | 55,2 |
| 336 | | | 504 | | | 720 | | | 2160 | | | 2160 | | | 2160 |
| 5/7/16 12:00 | | | | 12/7/16 12:00 | | | | 21/7/16 12:00 | | | | 19/9/16 12:00 | | | |

Table 2: Average residual force values "R_{AVG}" with respect to Time

| Time (hours) | R _{AVG} Residual Force (%) |
|--------------|-------------------------------------|
| 0 | 100 |
| 3 | 83,0 |
| 24 | 74,3 |
| 72 | 65,3 |
| 168 | 61,4 |
| 336 | 59,2 |
| 504 | 59,0 |
| 720 | 59,7 |
| 2160 | 55,6 |



| | | |
|--|--|---------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 137/16 |
| | | Page 6 of 14 |

7 - SUPERVISION

The tests were carried out at FIP Industriale Test Laboratory on the 21th, 22th, 24th, 28th of June and 5th, 12th, 21th of July and 19th of September in 2016, under the supervision of Mr. Alberto Montanari of the State University of Padua Test Laboratory ("Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale. Laboratorio sperimentale per le prove sui materiali da costruzione").

8 - ANNEXES

ANNEX A – Drawing;
 ANNEX B – Test equipment;
 ANNEX C – Test Results;
 ANNEX D – Photographs.

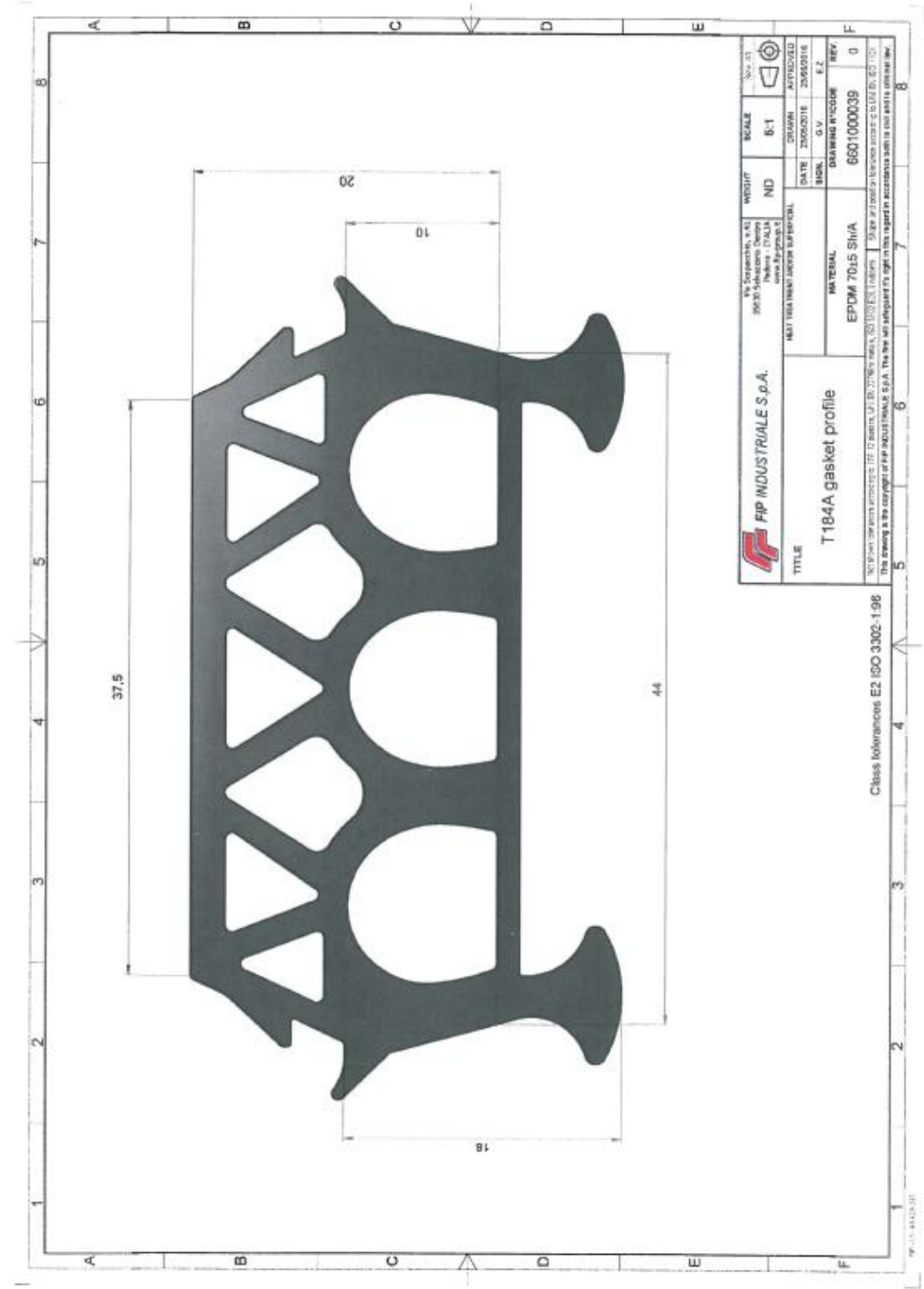
| | | |
|--|--|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY Drawing | VP 137/16 |
| | | Annex A Page 7 of 14 |

ANNEX A

Drawing



[Handwritten signature]



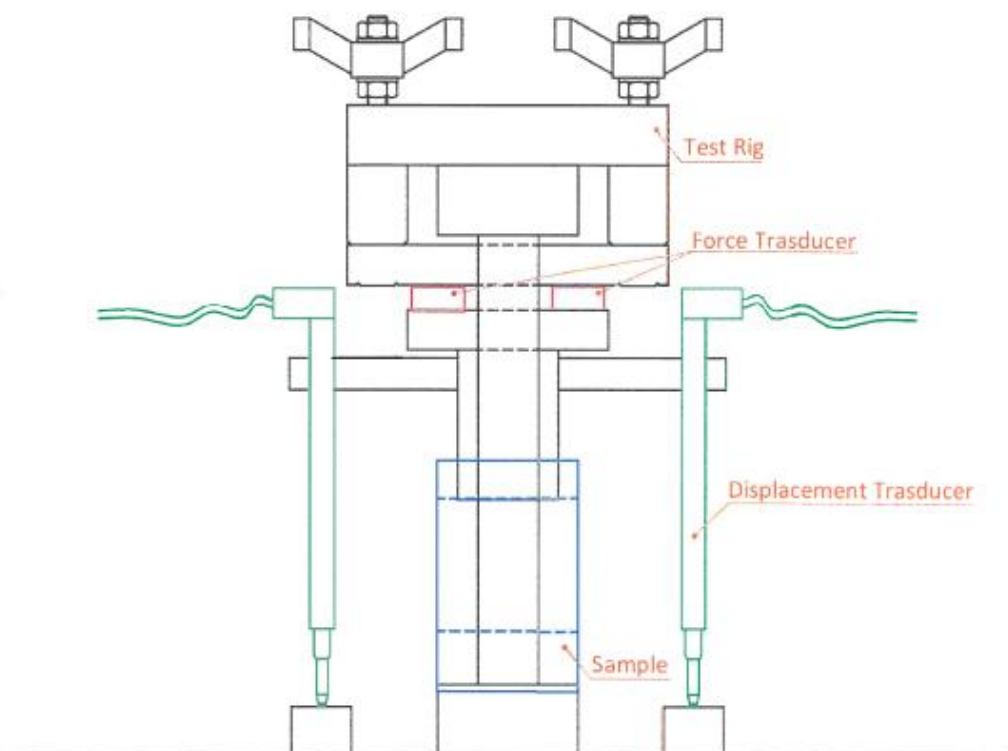
| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST EQUIPMENT | VP 137/16 |
| | | Annex B Page 9 of 14 |

ANNEX B

Test equipment



Handwritten signature



| | | |
|--|---|--|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST RESULTS | VP 137/16 |
| | | Annex C Page 11 of 14 |

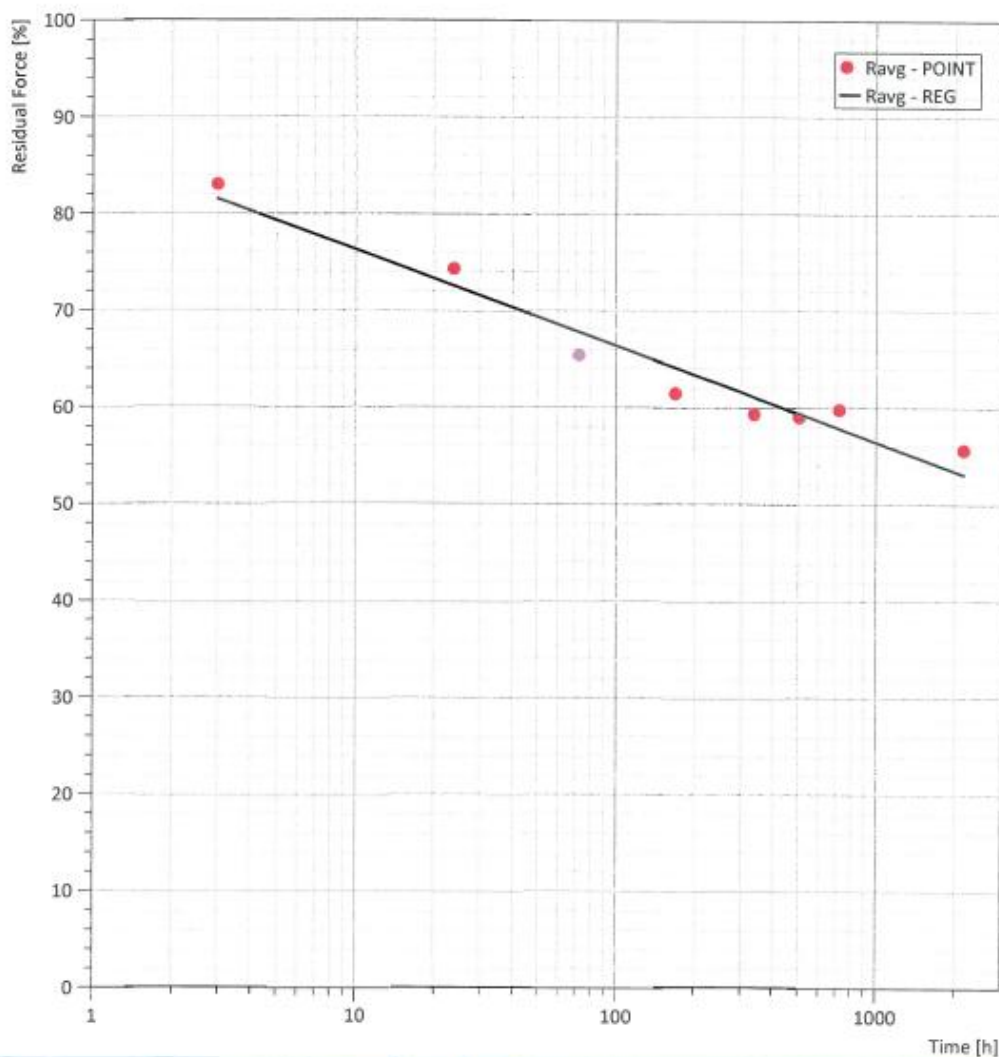
ANNEX C

Test Results




h

Gasket - T184A
Stress Relaxation Test



Date: 21/06 to 19/09 - 2016 Graph: SRT
Operator: S.Cogo
Rif. : VP 137/16
Data: SRT-1-R1880T184A#A&B
Graph: SRT-1-R1880T184A#A&B

Note: Tests were carried out according to STUVA

| | | |
|--|--|--------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY PHOTOGRAPHS | VP 137/16 |
| | | Annex D Page 13 of 14 |

ANNEX D

Photographs



[Handwritten signature]



Photo 1: Sample A in mechanical conditioning.



Photo 2: Sample B in a "Point Measurement" step.

ALLEGATO I – Guarnizione di tenuta idraulica – Water Tightness Test (STUVA)



UNIVERSA
UNIVERSIS
PATAVINA
LIBERTAS

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA UNIVERSITY OF PADUA

D.I.C.E.A.-DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Laboratorio Sperimentale per le Prove dei Materiali da Costruzione

D.C.E.A.E.-DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING
Strength of Materials and Structures Laboratory

Test Report N. 37746

Page 1/1

Submitted by: FIP INDUSTRIALE S.p.A. via Scapacchiò n. 41 - Selvazzano Dentro (PD)
Request: Received on June 09 and September 12, 2016 by the Testing Laboratory
Manager of FIP INDUSTRIALE S.p.A. dated June 08 and September 09, 2016
Items: Gasket T184A Water Tightness Test
Activity: Conformity verification of the contractual activities performed on the products and related to the testing operations in accordance with the contract specifications: STUVA Recommendations § 5.9.

In the beginning each test was performed at 12 mm gap equal to 10% compression of the sealing gasket. The equipment was filled with water, letting out the air. The water pressure was increased in steps of 1 bar and 2 bar when the pressure value was more than 20 bar. Each pressure step was maintained for at least 5 minutes, until it reached the desired test pressure or, alternatively, until water leakage and lack of sealing of the samples. Once the desired pressure at the reference gap is reached, it was decided to release pressure and to compress the 3 metallic elements samples one millimetre, in order to reach the ideal gap size for the continuation of the test. This procedure was continued until it reached the desired pressure of 30 bar that was maintained constant for at least 24 hours without the presence of water leakage.

TESTING ACTIVITY

FIP INDUSTRIALE S.p.A. has prepared the testing report VP138-16 dated September, 2016, composed by 14 pages in 3 official copies.

We declare that the test activities described in the above mentioned test report and carried out on the 15th to 26th of September, 2016, period were conducted according to the described procedure under the supervision of the "Laboratorio Sperimentale per le Prove sui Materiali da Costruzione del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova" (University of Padua, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Strength of Materials and Structures Laboratory) inspector Mr. Montanari. The above mentioned documentation is enclosed to this report and shall be considered as integral part of it for a total of 15 pages which is stamped with the *Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova* seal.

Padua - October 05, 2016

Head of Laboratory
(Prof. Carmelo Marforano)




Head of Department
(Prof. Carlo Pellegrino)

The results refer to the items subjected to test. This report cannot be partially reproduced without written authorization from the University Laboratory and does not constitute a product certification.

Office: Via Marzolo, 11/A - 35131 Padova
Secretary: +39 049 827.56.07
c.f.: 80006480281 - p.i.: 00742430283

telefax +39 049 827.55.87
e-mail: labor@dic.unipd.it
web: http://www.dic.unipd.it

| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 138/16 |
| | | Page 1 of 14 |

| |
|--------------------------------|
| Gasket T 184A |
|--------------------------------|

Water Tightness Test



Ref. R1880/R1913 - Comm. 1AFD

| | | | | |
|-------------|--------------------|------------------|---|----------------|
| 0 | Emission | S.C. |  FIP INDUSTRIALE S.p.A. Dott. Ing. Samuele Infanti Test Laboratory Director | September 2016 |
| REV. | DESCRIZIONE | ELABORATO | APPROVATO | DATA |

| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 138/16 |
| | | Page 2 of 14 |

LIST OF CONTENTS

| | |
|---------------------------------|---|
| 1 - INTRODUCTION | 3 |
| 2 - REFERENCE DOCUMENTS | 3 |
| 3 - DEVICES UNDER TESTING | 3 |
| 4 - TEST EQUIPMENT | 3 |
| 5 - TEST METHOD | 4 |
| 6 - TEST RESULTS | 5 |
| 7 - SUPERVISION | 5 |
| 8 - ANNEXES | 5 |

Agente SIAA/MI - 10/10/10/10
 (SIAA/MI - 10/10/10/10)
 (SIAA/MI - 10/10/10/10)

| | | |
|--|--|---------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 138/16 |
| | | Page 3 of 14 |

1 - INTRODUCTION

The present report describes the procedure and provides the results of the Type Tests carried out on a T184A gasket, manufactured by FIP Industriale S.p.A.. The Water Tightness tests were performed according to §5.9 of the STUVA Recommendations.

Purpose of the test is the verification of the configuration, in terms of the gap (the possible distance between the segments) and the offset installation (see annex A), such as to allow the achievement of an hydraulic pressure equal to 30 bar.

2 - REFERENCE DOCUMENTS

- Drawing FIP identified as 6601000039 – (see annex A)
- FIP document "IS_TEC_GASK_01_rev.1" - DESIGN DEGLI ANGOLI DELLE GUARNIZIONI ANCORATE PER TUNNEL
- STUVA (www.stuva.de) Recommendations §5.9: published in August 2005 with title "STUVA Recommendations for Testing and Application of Sealing Gaskets in segmental Linings"

3 – DEVICES UNDER TESTING

The samples consist of three T184A segments long more than 100mm with a shape capable of reproducing the typical T-joint, resulting from the assembly of the tunnel ring segments.

The segments with 90° angle are manufactured according to the design described in the FIP document "IS_TEC_GASK_01_rev.1" (see Photo 3 in annex D).

The test was performed in five different positions:

Central position, namely offset 0 mm; Offset 5mm; Offset 10mm; Offset 15mm; Offset 20mm (see Figure 1 in Annex B).

For each position a new sample, of recent production, and from the same lot, was used.

4 – TEST EQUIPMENT

A metal structure capable of reproducing the typical T-joint was used, resulting from the assembly of the tunnel ring segments.


The main components are described as follows: three metal elements, specially machined, to accommodate the sealing gasket in the grooves.

The dimensions of the grooves reproduce the working condition in the segments. The three compressed elements result in a T-joint assembly (see Figure 2 in Annex B).

Two of the three elements have a cubic shape in which the position of the seal gaskets forms a 90° angle. The third element is a platen in which is positioned the sample plane frame. At the edges of each element there are square-shaped holes. These holes allow, by means of bolts, the compression of the sealing gasket at the required gap, as well as the misalignment for an offsetting between the sample profiles. Furthermore:

- A pressure transducer (alternatively manometer) was used to measure the pressure applied in the inner chamber of the sealing gasket system as assembled.



| | | |
|--|--|--------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 138/16 |
| | | Page 4 of 14 |

- A pump for introducing water under pressure into the chamber.
- A hydraulic accumulator to compensate for any pressure changes.
- A non-return valve, a control valve and two taps.
- An electronic measuring amplifier HBM type Spider8, which feeds and conditions the pressure transducer.
- A computer supplied with DIAdem (NI) software for test data was recording and real-time data visualization. The same software was used for the data post-processing and the generation of the graphs presented in this report.

5 – TEST METHOD


For each test (different offset) a set of new EPDM frames is used. In order to obtain the misalignment (offset) during the test, it was necessary to move one of the two angular elements relative to each other along the axis, perpendicular to the horizontal compression and move with it the upper cover plate, in which the flat frame is accommodated.

All tests were performed at room temperature.

The tests were carried out in all the positions as described in paragraph 3.2.

The three metallic elements have been assembled and positioned correctly.

In the beginning each test was performed at 12 mm gap equal to 10% compression of the sealing gasket. The equipment was filled with water, letting out the air. The water pressure was increased in steps of 1 bar and 2 bar when the pressure value was more than 20 bar. Each pressure step was maintained for at least 5 minutes, until it reached the desired test pressure or, alternatively, until water leakage and lack of sealing of the samples. Once the desired pressure at the reference gap is reached, it was decided to release pressure and to compress the 3 metallic elements samples one millimetre, in order to reach the ideal gap size for the continuation of the test. This procedure was continued until it reached the desired pressure of 30 bar that was maintained constant for at least 24 hours without the presence of water leakage.

| | | |
|--|--|---------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST REPORT | VP 138/16 |
| | | Page 5 of 14 |

6 – TEST RESULTS

Every sample reached the design pressure of 30 bar.
The Pressure vs Gap graph is reported in Annex C.


7 - SUPERVISION

The tests have been carried out at FIP Industriale Test Laboratory on the 15th to 26th of September, 2016, under the supervision of Mr. Alberto Montanari of the State University of Padua Test Laboratory ("Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale. Laboratorio sperimentale per le prove sui materiali da costruzione").

8 - ANNEXES

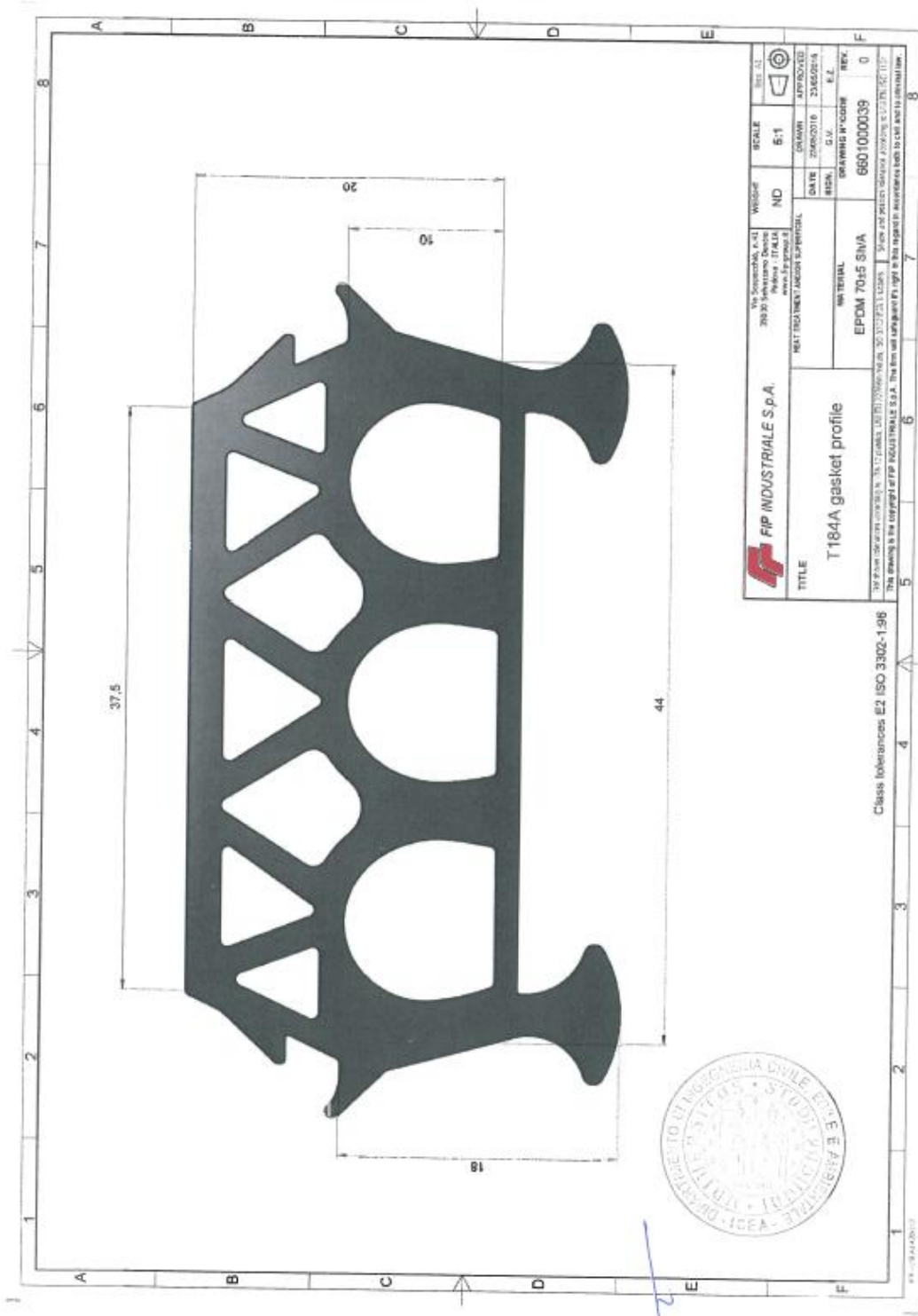
ANNEX A – Drawing;
ANNEX B – Test equipment;
ANNEX C – Test Results;
ANNEX D – Photographs.



| | | |
|--|----------------------------|-------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY Drawing | VP 138/16 |
| | | Annex A Page 6 of 14 |

ANNEX A

Drawing



| | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST EQUIPMENT | VP 138/16 |
| | | Annex B Page 8 of 14 |

ANNEX B

Test equipment

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST EQUIPMENT | VP 138/16 |
| | | Annex B Page 9 of 14 |

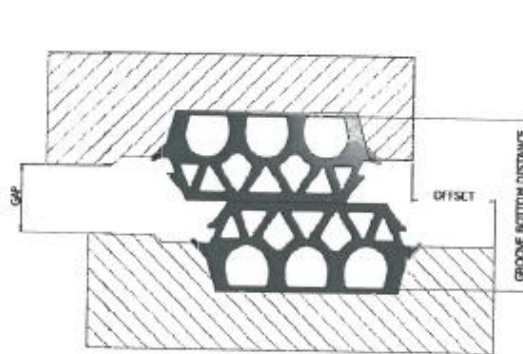


Figure 1: Test dimension reference

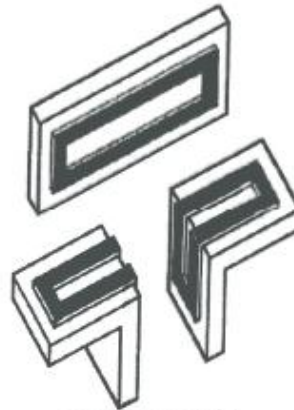


Figure 2: Test Rig

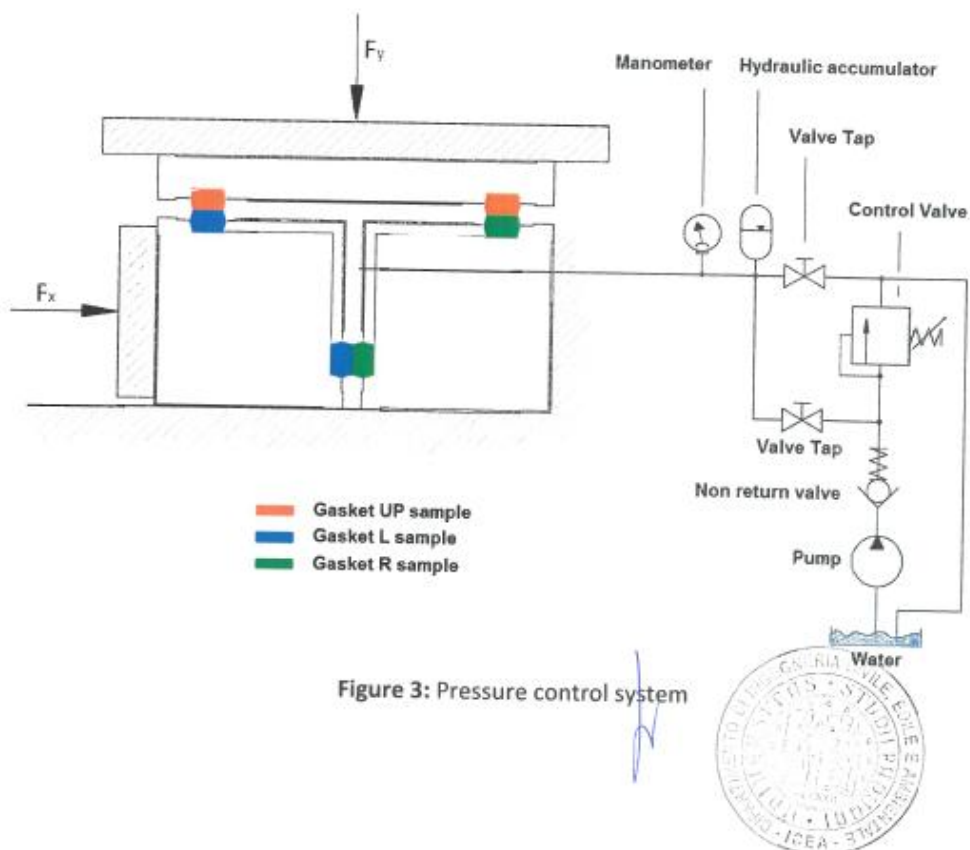

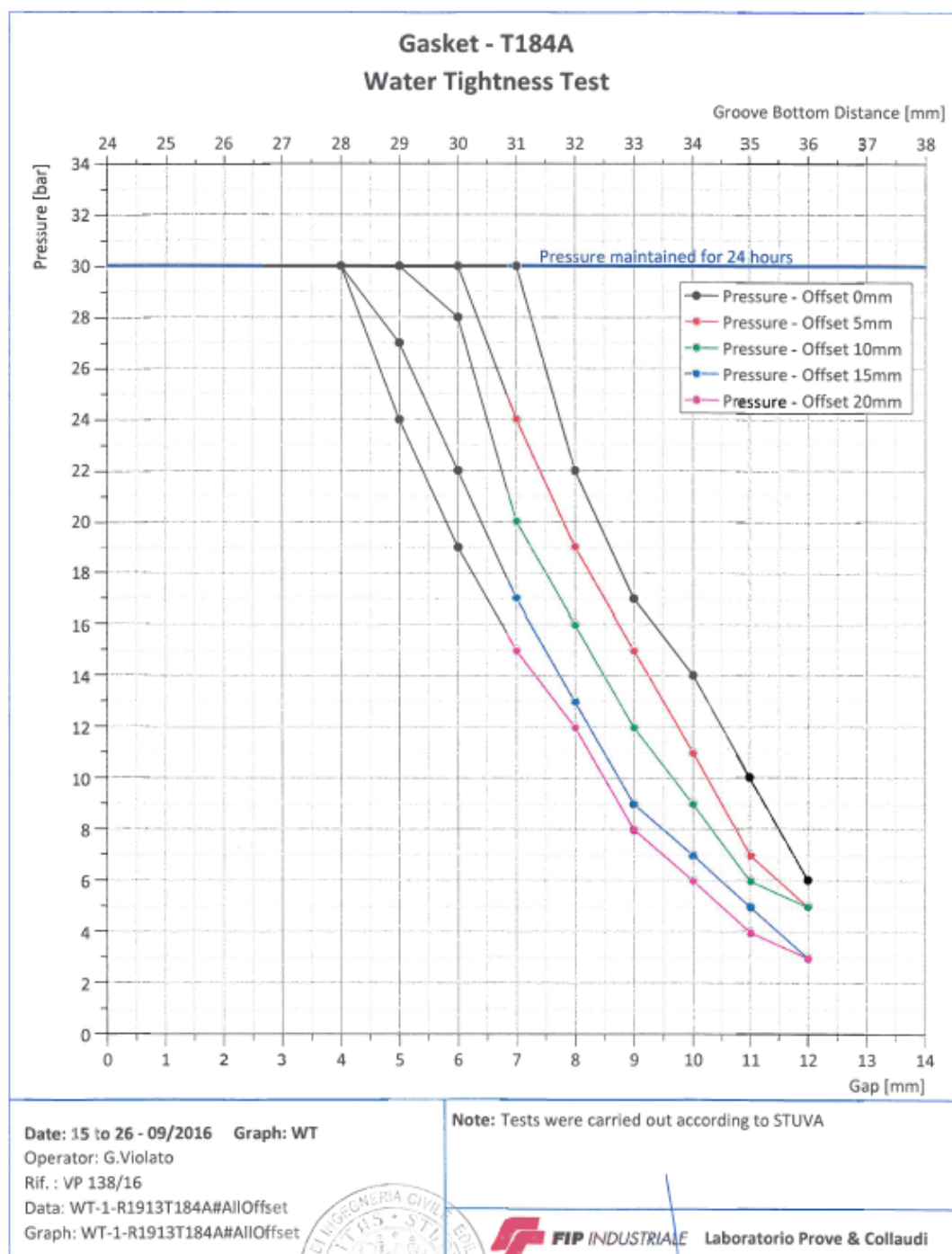



Figure 3: Pressure control system

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY TEST RESULTS | VP 138/16 |
| | | Annex C Page 10 of 14 |

ANNEX C

Test Results



| | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|
|  FIP INDUSTRIALE | TEST LABORATORY PHOTOGRAPHS | VP 138/16 |
| | | Annex D Page 12 of 14 |

ANNEX D

Photographs



Photo 1: Sample in Test Rig




Photo 2: Assembled Test Rig + Pressure control system + DAQ





Photo 3: Sample after test and corner detail

ALLEGATO L – Elemento di tenuta aggiuntivo



FIP INDUSTRIALE
leading technologies

TECHNICAL DATA SHEET





FOM STRIP L 25x20

| | |
|----------------------|-----------------|
| Material description | Foamy |
| Polimer | Polyethylene |
| Colour | White - Neutral |

| Initial characteristics | | Test method | Units | Typical value or range |
|-------------------------|------------------------------|----------------------|--------|------------------------|
| Thickness | | UNI EN ISO 1923-1197 | mm | 20 |
| Dimension | | UNI EN ISO 1923-1197 | mm | 25 |
| Density | | UNI EN ISO 7214-2008 | Kg/m3 | 24 |
| Compression load | 10% | UNI EN ISO 7214-2008 | N/mm2 | 0,022 |
| | 25% | UNI EN ISO 7214-2008 | N/mm2 | 0,041 |
| | 50% | UNI EN ISO 7214-2008 | N/mm2 | 0,094 |
| Tensile strength | extrusion longitudinal sense | UNI EN ISO 7214-2008 | kPa | 250 |
| | extrusion longitudinal sense | UNI EN ISO 7214-2008 | kPa | 170 |
| Elongation at break | extrusion longitudinal sense | UNI EN ISO 7214-2008 | % | 75 |
| | extrusion longitudinal sense | UNI EN ISO 7214-2008 | % | 55 |
| Thermal stability (70°) | | UNI EN ISO 7214-2008 | % | <2 |
| Cell dimension | | UNI EN ISO 7214-2008 | n/25mm | >20 |
| Application temperature | | Fip indication | °C | -20 / +70 |

* Test on plate

FIP INDUSTRIALE S.P.A. • Società con unico socio • Via Scapacchiò, 41 • Casella Postale 97
 35030 Selvazzano (PD) • ITALY • T +39 049 8225511 • F +39 049 638567 • fip@fip-group.it
 Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v. • R.E.A. 225035 • Reg. Impr. DI PD 02373170287 • C.F./P.IVA 02373170287

fip-group.it ISO 9001 - Cert. n. 0657