



Le membrane sintetiche nell'impermeabilizzazione di opere complesse: il Passante ferroviario di Torino

Synthetic waterproofing membranes for complex works: the Turin Railway Loop

Dott. Ingg. Giovanni Mario CAVALLERO(*), Matteo RICHIARDONE(*), Marco SCHIERONI(**)

1. Premessa

Il progetto di potenziamento del Nodo ferroviario di Torino, oggi in piena fase di realizzazione con previsione di completamento al 2012, è il risultato di ricerche e studi iniziati negli anni '70.

Tale progetto, attraverso la realizzazione della nuova linea "Passante" tra le stazioni di Torino Lingotto e Torino Porta Susa, oltre al quadruplicamento in asse della linea Torino-Milano tra le stazioni cittadine di Porta Susa e di Stura, comporta la realizzazione di un importante complesso infrastrutturale, riconosciuto come esigenza fondamentale anche per la razionalizzazione del sistema viabile superficiale, con conseguente possibilità di una importante riqualificazione urbanistica.

Le stazioni interessate dal progetto sono sette, due delle quali di nuova realizzazione (Zappata e Rebaudengo), tre completamente ristrutturate (Porta Susa, Dora, Stura), mentre la stazione di Lingotto è già stata rinnovata negli scorsi anni e Porta Nuova è in avanzato stato di restyling (fig. 1).

Nell'ambito del nuovo piano regolatore ferroviario la stazione sotterranea passante di Porta Susa è destinata a divenire la principale della città, grazie anche alla sua posizione e all'importante interscambio con la linea metropolitana cittadina.

NODO DI TORINO

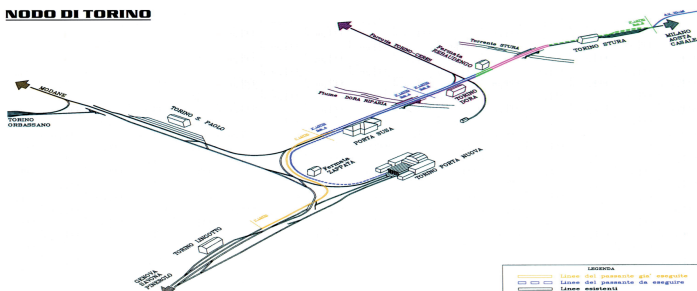


Fig. 1 - Schema nodo ferroviario di Torino. Plan of Turin Railway Node. (Turin Node - on figure above- Key: Line of loop already constructed; Line of loop still to be constructed; Existing lines).

(*) Italferr S.p.A.

(**) Imper Italia S.p.A.

1. Preamble

The project comprising the strengthening of the Turin Railway Node, which is currently well into the realization phase with completion envisaged for 2012, is the result of research and studies which commenced already in the 1970s.

A project of this type, which via the realization of the "Loop" between the stations of Lingotto Turin and Porta Susa Turin, in addition to quadrupling the axes of the Turin-Milan line between the city stations of Porta Susa and Stura, also includes realization of a significant complex infrastructure, is recognized as a fundamental requirement of the rationalization of the transport system on the surface, with as a consequence the possibility of significant urban regeneration.

There are seven stations involved in the project, two of which have been newly built (Zappata and Rebaudengo), three which have been completely restructured (Porta Susa, Dora, Stura), whilst the station at Lingotto had already been renovated a few years ago and Porta Nuova is in the advanced stages of restyling (fig.1).

Within the context of the new regulatory plan for the railway the Porta Susa underground loop station is destined to become the principal one of its kind in the city, due also to its position and the important interchange with the city underground line.

2. C.so Vittorio Emanuele II - C.so Grosseto section - Layout and characteristics

The layout of the railway line was developed in the relevant urban context, which in addition to the presence of the river Dora also includes a complex surface transport network in a densely populated area.

Going from Porta Susa station, with a steady horizontal gradient, the railway route goes below the urban fabric with a pitch of around 12‰, then being placed at a part which is

lower than that of the future Piazza Statuto transport underpass, where it intersects with line 1 of the Under-

2. Tratta C.so Vittorio Emanuele II-C.so Grosseto – Tracciato e caratteristiche

Il tracciato della linea ferroviaria si sviluppa in un contesto urbano interessato, oltre che dalla presenza del fiume Dora, anche da una complessa viabilità di superficie in zone intensamente antropizzate.

Partendo dalla stazione di Porta Susa, con livelletta orizzontale, il tracciato ferroviario si sviluppa al di sotto del tessuto urbano con una pendenza del 12‰ circa, ponendosi ad una quota inferiore al futuro sottopasso viabile della Piazza Statuto, dove interseca la linea 1 della Metropolitana, attraversando l'importante nodo di sottopassaggio del Corso Regina Margherita, per continuare a immergersi fin sotto il fiume Dora (fig. 2).

ground service, crossing over the important underpass node of Corso Regina Margherita, in order to then continue to become immersed up until the river Dora (fig. 2).

Once this has been crossed by means of an under-river case-type structure enclosed between a series of structural bulkheads and plastic bulkheads (which had been consolidated beforehand for the excavation work relating to the structural elements), one arrives at the "Fermata di Dora" (Dora Stop), downstream from which the gradient rises again at a pitch of around 14‰, in the direction of Milan, going under Stradella and Breglio streets, before arriving at Rebaudengo station, which is also underground, opening out onto the surface immediately after Corso Grosseto (fig. 3).

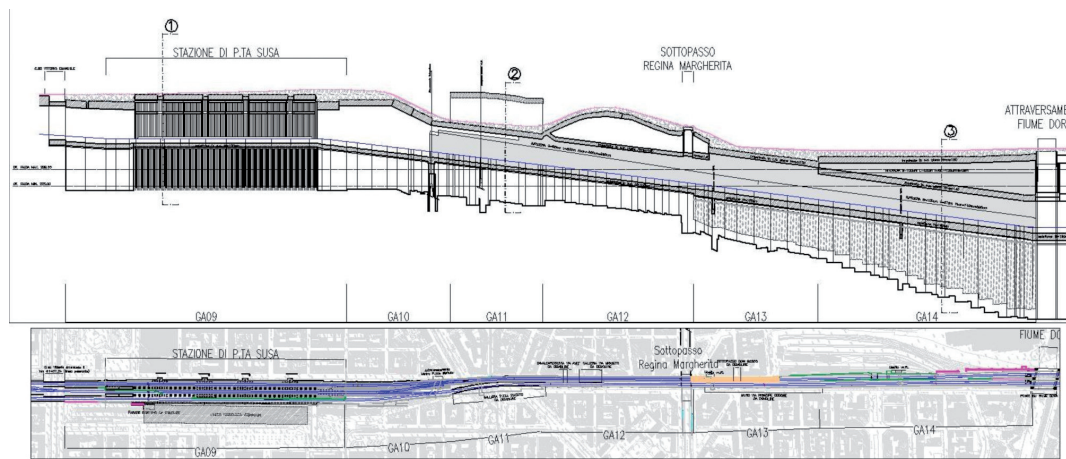


Fig. 2 - Planimetria e profilo dell'appalto in corso di realizzazione tra Porta Susa e il fiume Dora. *Planimetry and profile of the contracted work in the course of realization Porta Susa and the river Dora (Porta Susa station; Regina Margherita under pass; River Dora crossing; Porta Susa station; Regina Margherita under pass; River Dora).*

Sottopassatolo con una struttura subalvea scatolare racchiusa tra una serie di paratie strutturali e paratie plastiche (di consolidamento preventivo per gli scavi degli elementi strutturali), si arriva alla "Fermata di Dora", a valle della quale la livelletta risale con pendenza di circa il 14‰, in direzione Milano, sottopassando le vie Stradella e Breglio, prima di arrivare alla Stazione di Rebaudengo, anch'essa in sotterraneo, con sbocco in superficie subito dopo corso Grosseto (fig. 3).

Le opere ferroviarie di linea sono costituite essenzialmente da gallerie artificiali a singolo, doppio o triplice "fornice", distribuite su uno o due livelli, dei quali solo quello inferiore è occupato dai binari. L'approfondimento massimo dal piano di campagna raggiunge i 20 m.

Ricorrendo la necessità di garantire l'esercizio delle linee ferroviarie, le lavorazioni sono state suddivise in due

The railway line works essentially constitute artificial tunnels with single, double or triple "arches", distributed over one or two levels, of which only the lower one is occupied by tracks. The maximum depth of the natural land level reaches 20 m.

With regard to the necessity of ensuring operation of the railway lines the works have been sub-divided into two macro phases for realization. In the first west macro phase, with the railway traffic (which is still on the surface) which is all concentrated in to the east zone of the work, these areas to the west have become available for the construction of the first of the two tunnels (West phase tunnel). With the west micro phase finished, the railway traffic was wholly directed into the new tunnel, thus making available the surface areas for the start of the east macro phase, at the end of which, with the real-

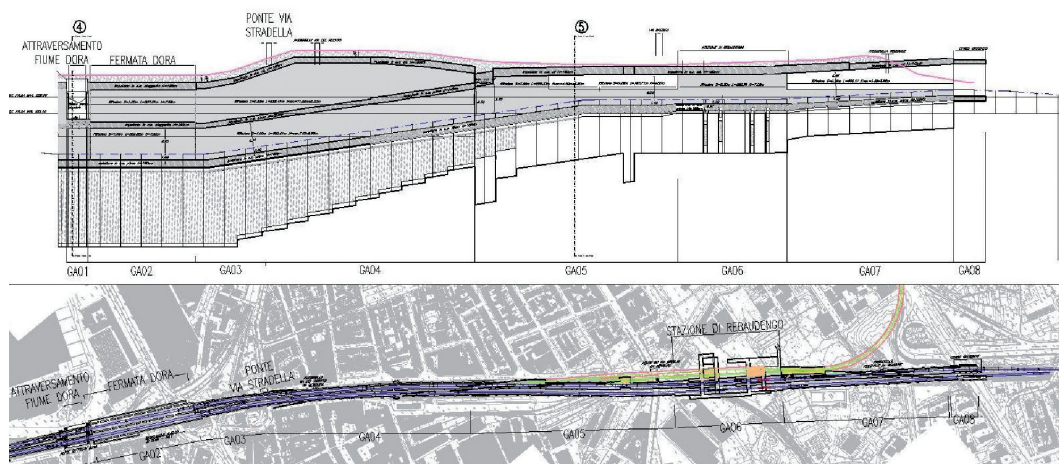


Fig. 3 - Planimetria e profilo dell'appalto in corso di realizzazione tra il fiume Dora e corso Grosseto. *Planimetry and profile of the contracted work between the river Dora and corso Grosseto (River Dora crossing; River Dora stop; Via Stradella bridge; River Dora crossing; River Dora stop; Via Stradella bridge; Rebaudengo station).*

macrofasi realizzative. Nella prima macrofase ovest, con il traffico ferroviario (qui ancora in superficie) concentrato tutto nella zona est dell'intervento, si sono rese disponibili le aree ad ovest per la costruzione della prima delle due gallerie (Galleria di fase ovest). Ultimata la macrofase ovest, il traffico ferroviario è stato interamente instradato nella nuova galleria, rendendo così disponibili le aree superficiali per l'inizio della macrofase est, al termine della quale, con la realizzazione della galleria est in affiancamento alla precedente, sarà completato il quadruplicamento.

3. L'impermeabilizzazione

3.1. Esigenza dell'impermeabilizzazione

La falda risulta essere posizionata mediamente a quota 225.00 m s.l.m., con valore di picco progettuale fissato a 229.00 m s.l.m. rispetto alla quota di sistemazione superficiale variabile tra 248.00 m s.l.m. e 233.00 m s.l.m..

Dall'analisi del profilo longitudinale della galleria si evince che circa 3,5 km dei 4,5 km di sviluppo totale del tratto in questione, si caratterizzano per essere totalmente o parzialmente immersi in falda (in relazione all'approfondimento).

Il problema viene, pertanto, contrastato adottando due provvedimenti:

- realizzazione di tampone di fondo in jet-grouting per evitare il flusso di acqua di falda in galleria ed il relativo sifonamento;
- impermeabilizzazione, mediante impiego di teli, di tutte le strutture sottostanti la quota della falda per

izzazione of the east tunnel next to the preceding one, the quadruplicating procedure will be completed.

3. Waterproofing

3.1. Waterproofing requirement

The stratum has found to be positioned centrally to a height of 225.00 m s.l.m., with a projected fixed peak value of 229.00 m s.l.m. with respect to the variable surface systemation height of between 248.00 m s.l.m. and 233.00 m s.l.m.

From the analyses of the longitudinal profile of the tunnel it would seem that around 3.5 km of the 4.5 km total development of the stretch in question are characterized by being partially or totally immersed in the stratum (in relation to the depth).

The problem is for this reason tackled by adopting two measures:

- realization of a bottom buffer in Jet-grouting to avoid the flow of water from the stratum in the tunnel and the related siphoning;
- waterproofing, by the use of cladding sections, of all the structures existing at the height of the stratum to guarantee a stable seal of the work and to preserve durability of the same. In general, along the line, waterproofing involves the floor slabs and the lateral bulkheads up to maximum height of the peak of the stratum of 1 metre (fig. 4).

In the single section, made up of the under-river crossing the waterproofing has been extended to the upper

counter-slabbing, creating a tube-like protective component above which is located the river bed (figg. 5-6).

In order to realize this particular section of the work two macro phases have been envisaged, which aim to effect the conveyance of the river first from one side and



Fig. 4 - Sezione lungo linea. Section along the line (West Tunnel; East Tunnel; Surface road; Systemation profile: - protective screed in cls; - waterproofing of floor with bituminous coating; Maximum stratum height + 229.0; Upper floor; Waterproofing of bulkheads with polyolefin; Liner; Bulkhead; Floor in intermediate c.a.; Waterproofing of bulkheads with polyolefin; Liner; Waterproofing of bottom with polyolefin; Slabbing on bottom; Consolidation work on bottom; Excavations with jet grouting).

then from the other of the riverbed, so as to free up as an alternative some parts of the same, above which had been created the necessary peninsulas to be able to work safely (fig. 7).

It is appropriate to remember that along the whole of the development of the tunnel the upper slabbing, above which is effected the burying and then the creation of the new road transport route, is also waterproofed, up to the height necessary to protect the floor-seam join by the use of classic bituminous coating.; in the longitudinal direction were installed dilatation join points between adjacent ashlar. Taking into account the requirements relating to planting of flowerbeds, located above the floor, the waterproofing "package" is thus defined as follows:

waterproofing “package” is thus defined as follows:

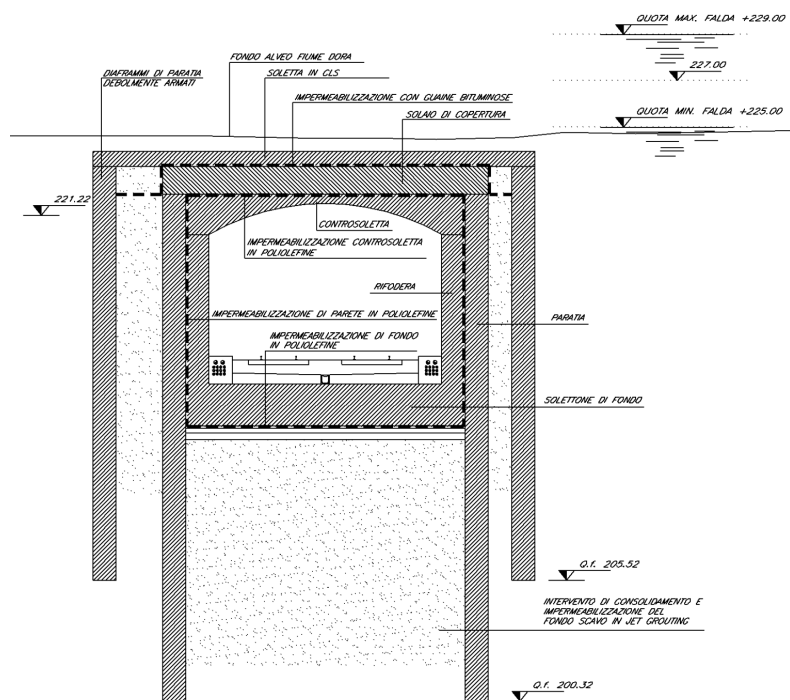


Fig. 5 – Sezione sottoattraversamento fiume Dora Riparia. Section through underpass under River Dora Riparia (Max stratum height +229.00; Bottom of river Dora riverbed; Bulkhead diaphragm; Slabbing in c.l.s.; Slightly reinforced; Waterproofing with bituminous coating; Floor of covering; Min. stratum height +225.00; Counter-Slabbing; Waterproofing of counter-slabbing in polyolefin; Liner; Waterproofing of bulkhead in polyolefin; Bulkhead; Waterproofing of bottom in polyolefin; Slabbing on bottom; Consolidation work on bottom; Excavations with jet grouting).

effettua il rinterro e successivamente si realizza la nuova viabilità stradale, è anch'esso impermeabilizzato, fino alla quota necessaria per proteggere il giunto impalcato-cordolo, mediante l'impiego delle classiche guaine bituminose; in senso longitudinale sono stati installati giunti di dilatazione tra conci adiacenti. Tenuto conto delle esigenze di piantumazione delle aiuole stradali, sovrastanti l'impalcato, il "pacchetto" impermeabilizzante è stato così definito:

- primer;
- 1° strato guaina bituminosa armata in poliestere sp. 3 mm, steso con ampia sovrapposizione tra le membrane;
- 2° strato guaina bituminosa armata in poliestere sp. 4 mm, additivato con antiradice e steso anch'esso con ampia sovrapposizione tra le membrane;
- geotessile di protezione 401÷500 g/m²;
- foglio protettivo 20/100 mm in Polietilene con ulteriore funzione antiradice;
- massetto di protezione in quadrotti di calcestruzzo sp. 10 cm.

- primer;
- 1° bituminous coating reinforced with polyester with a thickness of 3 mm, spread generously so it gets between the membranes;
- 2° bituminous coating reinforced with polyester with a thickness of 4 mm, with addition of anti-rooting agent, and also spread generously so it gets between the membranes;
- protective geotextile 401÷500 g/sq.m²;
- protective sheeting 20/100 mm made from polyethylene with further anti-rooting function;
- protective screed in concrete plates with thickness of 10 cm.

3.2. Material used for waterproofing of the structures under the stratum

3.2.1. General points

The waterproofing membrane used is the synthetic type, totally made up from polymer materials, without bitumen.



Fig. 6 - Sottoattraversamento fiume Dora – Impermeabilizzazione contro soletta. Rive Dora underpass – Waterproofing of counter-slabbing.

3.2. Materiale impiegato per l'impermeabilizzazione delle strutture sotto falda

3.2.1. Generalità

La membrana impermeabilizzante utilizzata è del tipo sintetico, totalmente costituita da materiali polimerici, senza bitume.

In termini generali, i materiali polimerici si dividono in due gruppi convenzionalmente suddivisi tra *termoindurenti* e *termoplastici*.

I materiali termoplastici rammoliscono all'aumentare della temperatura; non così i materiali termoindurenti, i quali tendono, invece, a diventare più rigidi.

Le membrane a base di polimeri termoindurenti possono, quindi, essere saldate tra di loro solo chimicamente, mentre le membrane termoplastiche possono essere saldate tra di loro mediante un processo di fusione e, dunque, con un'azione termica.

In tutte le membrane sintetiche, alla base polimerica vengono aggiunte sostanze finalizzate a determinare opportuni comportamenti in funzione dell'applicazione alla quale sono destinate.

Tali sostanze sono, in genere, *plastificanti*, *coloranti*, *antiossidanti*, *lubrificanti*, anti UV, o altri componenti speciali atti a conferire alla materia plastica finita le progettate caratteristiche di lavorabilità, aspetto e resistenza agli agenti aggressivi.

Dal punto di vista comportamentale le membrane possono, poi, essere suddivise, a seconda della condotta prevalente nell'ambito del *range* delle temperature e delle sollecitazioni di esercizio, tra *plastomeriche* ed *elastomeriche*.

Tra le prime, le più comuni sono quelle a base di PVC-P (polivinilcloruro-plasticato), di HDPE (polietilene ad alta densità), CPE (polietilene clorurato), di PIB (poliisobutilene). Tipiche membrane elastomeriche sono, invece, quelle a base di EPDM (etilenopropilenediene monomero).

Nella pratica, entrambe queste tipologie di membrane presentano vantaggi e limiti. Le membrane elastomeriche offrono eccellenti prestazioni meccaniche e di durabilità; non essendo di natura termoplastica, esse evidenziano, tuttavia, seri problemi applicativi nella realizzazione delle saldature in opera, che avviene normalmente con il ricorso a collanti e sigillanti il cui impiego impone particolari accorgimenti.

Le membrane plastomeriche offrono prestazioni ge-



Fig. 7 - Penisola di lavoro in alveo per la realizzazione delle opere strutturali. *Peninsula for working in the riverbed so as to realize the structural works.*

In general terms polymer materials may be divided into two groups, conventionally sub-divided into *thermosetting* and *thermoplastic* materials.

The thermoplastic materials soften when temperature increases, unlike thermosetting materials, which on the other hand tend to become more rigid.

The thermosetting material based membranes can therefore be welded together by chemical means only whereas thermoplastic membranes can be welded together by a fusion process and thus also with heat action.

In all synthetic membranes substances are added to the polymer base whose purpose is to ensure appropriate behaviour according to the applications for which they are intended. Such substances are, in general, *plasticisers*, *colorants*, *anti-oxidants*, *lubricants*, anti-UV, or other special constituents which give the finished plastic material the intended characteristics of workability, appearance and resistance of aggressive agents.

From the viewpoint of behaviour the membranes can then be sub-divided, according to the prevalent behaviour in the context of *range* of temperatures and of operating stresses into *plastomeric* and *elastomeric*.

Amongst the first category the most common are those based on PVC-P (polyvinyl chlorine plasticized), HDPE (high density polyethylene), CPE (chlorinated polyethylene), PIB (poly-isobutylene). Typical elastomeric membranes are on the other hand those based on EPDM (ethylene propylene diene monomer)

In practice both these types of membranes have advantages and limits. The elastomeric membranes offer excellent mechanical performance and durability; but since

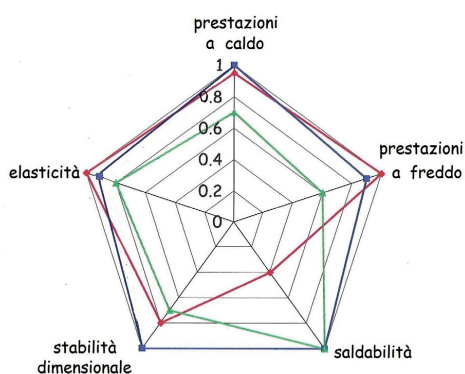
OSSERVATORIO

nerali tipicamente inferiori e possono essere soggette ad un progressivo degrado (in particolare nel caso del PVC-P), a causa della migrazione, nel tempo, dei plastificanti aggiunti nella formulazione. Data la natura termoplastica, si prestano, tuttavia, ad un'agevole applicazione ad aria calda.

Le membrane poliolefiniche rappresentano l'evoluzione delle due tipologie di membrane sintetiche classiche, distinguendosi per il comportamento di tipo *elasto-plastomerico* e per il profilo tecnico complessivo, che coniuga le prestazioni tecniche e di durabilità delle membrane elastomeriche con la termoplasticità delle membrane plastomeriche, circostanza da cui deriva la facilità di saldatura da aria calda, senza il ricorso a materiali d'apporto (tabella 1).

PRINCIPALI MEMBRANE SINTETICHE: PRESTAZIONI A CONFRONTO

PRINCIPAL SYNTHETIC MEMBRANES: PERFORMANCE COMPARISON



Note: 1 migliore
0 peggiore

(Performance when hot; elasticity; performance when cold; dimensional stability; seamability; Note: 1 better; 0 worse; elastomeric; elastoplastomeric; plastomeric).

3.2.2. Le poliolefine

Le poliolefine rappresentano una grande famiglia di polimeri termoplastici. Dal punto di vista chimico, una poliolefina è una materia plastica prodotta attraverso la polimerizzazione di un monomero denominato olefina. Ogni catena polimerica formata da molecole di olefine prende il nome di poliolefina. Il termine olefina (attualmente si preferisce utilizzare il termine alkene) si riferisce genericamente a qualsiasi molecola contenente un doppio legame carbonio-carbonio.

they are not thermoplastic they do however show serious application problems in relation to welding work, which normally happens with recourse to adhesives and sealants the use of which is imposed by particular situations.

The plastomeric membranes typically offer generally lower performance and can be subject to progressive deterioration (in particular in the case of PVC-P), due to the migration, in time of the plasticisers added to the formulation. Given the nature of thermoplastics they do lend themselves however to easy hot air application.

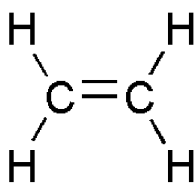
Polyolefin membranes represent the evolution of two types of conventional synthetic membranes, which may be distinguished by the behaviour of the elasto-plastomeric type and by the overall technical profile, which links the technical performances and durability of the elastomeric membranes with the thermo plasticity of the plastomeric membranes, and it is this circumstance which leads to its ease of hot air welding without the need for additives (tabella 1).

TABELLA 1 – TABLE 1

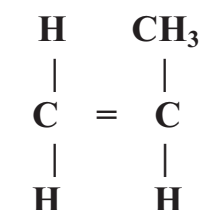
CONFRONTO TRA LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLE MEMBRANE SINTETICHE TERMOPLASTICHE - COMPARISON OF PRINCIPAL CHARACTERISTICS OF THERMOPLASTIC SYNTHETIC MEMBRANES

PVC-P (Plastomeriche) (Plastomerics)	TPO/FPA (Nuova generazione sintetiche) (New generation of synthetics)
Facilmente saldabile <i>Easy to weld</i>	Facilmente saldabile <i>Easy to weld</i>
Facilmente riparabile <i>Easy to repair</i>	Facilmente riparabile <i>Easy to repair</i>
Contiene cloro <i>Contain chlorine</i>	Non contiene cloro <i>Do not contain chlorine</i>
Contiene plastificanti <i>Contain plasticizers</i>	Non contiene plastificanti <i>Do not contain plasticizers</i>
Perdita di massa <i>Loss of mass</i>	Esente da perdite di massa <i>Free from loss of mass</i>
Poco elastica <i>Not very elastic</i>	Molto elastica <i>Very elastic</i>
Infragilisce <i>Brittle</i>	Non infragilisce <i>Not brittle</i>
Si ritira <i>Shrinks</i>	Non si ritira <i>Does not shrink</i>
Poco durevole <i>Not very durable</i>	Molto durevole <i>Very durable</i>
Normalmente armata <i>Normally reinforced</i>	Normalmente non armata <i>Not normally reinforced</i>
Fuma durante la saldatura <i>Fumes produced during welding</i>	Priva di fumi durante la saldatura <i>Fumes not produced during welding</i>
	Ecocompatibile <i>Eco-compatible</i>

ESEMPI DI OLEFINE - EXAMPLES OF OLEFINS



Etilene - Ethylene



Propilene - Propylene

Le poliolefine possono essere formate da monomeri olefinici dello stesso tipo, come per esempio l'etilene o il propilene (poliolefine omopolimero), oppure risultare dalla concatenazione di monomeri di diversa natura (poliolefine copolimero).

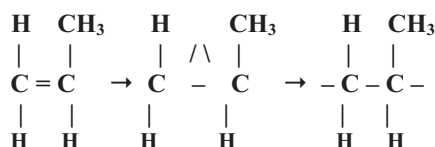
Il polietilene è quindi una poliolefina prodotta attraverso la polimerizzazione dell'olefina etilene. Analogamente il polipropilene è una poliolefina prodotta mediante la polimerizzazione dell'olefina propilene.

Nel processo di polimerizzazione avviene l'apertura del doppio legame che serve a stabilire il collegamento chimico fra le varie unità monomeriche.

In termini generali, le poliolefine si caratterizzano per l'elevata resistenza chimica.

SCHEMA DELLA POLIMERIZZAZIONE DEL POLIPROPILENE

DIAGRAM SHOWING POLYMERIZATION OF POLYPROPYLENE



3.2.3. Generalità sulle membrane impermeabilizzanti poliolefiniche: le TPO

Applicazioni diffuse delle poliolefine cominciarono negli USA nel 1990 e in Europa nel 1994. In particolare, negli USA le poliolefine conobbero un'imponente diffusione in ragione dello scopo di contrastare i gravi problemi sollevati dalle membrane in EPDM, alle quali si rimproverava soprattutto di essere insuscettibili di saldatura a caldo. Per quanto concerne l'Italia, l'introduzione di tali sostanze rispondeva all'intento di superare le criticità delle membrane in PVC-P, in specie con riguardo a paventate problematiche sanitarie e ambientali, oltre che di affidabilità funzionale.

Le caratteristiche innovative delle membrane poliolefiniche di ultima generazione sono saldabilità a caldo e velocità di saldatura, flessibilità alle basse temperature, resistenza al punzonamento, compatibilità con il bitume e il polistirene.

3.2.2. Polyolefins

Polyolefins represent a large family of thermoplastic polymers. From the chemical viewpoint, a polyolefin is a plastic material produced via polymerization of a monomer which is called an olefin. Every polymeric chain formed from olefin molecules may then be called a polyolefin. The term olefin (currently the term alkene is preferred) generally refers to any molecule containing a double carbon-carbon bond.

Polyolefins can be formed from olefin monomers of the same type, such as for example ethylene propylene (polyolefin homopolymer), or they may result from concatenation of monomers of different types (polyolefin copolymer).

Polyethylene is therefore a polyolefin produced by the polymerization of the ethylene olefin. Analogously polypropylene is a polyolefin produced by polymerization of the propylene olefin.

In the polymerization process the double bond opens up which then serves to stabilize the chemical link between the various monomeric units.

In general terms, polyolefins are characterized by high chemical resistance.

3.2.3. General points about polyolefin waterproofing membranes: TPOs

Various applications of polyolefin commenced in the USA in the 1990s and in Europe in 1994. In particular in the USA the use of polyolefin spread to a significant extent as a result of the aim of contrasting these with the serious problems raised by EPDM membranes, which were being criticized in particular for not being able to be hot welded. As far as Italy was concerned, the introduction of such substances was in line with the aim of overcoming the criticality of PVC-P membranes, in particular with regard to the fear of sanitary and environmental problems arising, in addition to operational reliability.

The innovative characteristics of polyolefin membranes of the most recent generation are hot weldable and speed of welding, flexibility at low temperatures, punch resistance, compatibility with bitumen and polystyrene.

Thus what differentiates polyolefin membranes from other thermoplastic membranes is the absence of plasticisers, which allows an appreciation of the flexibility inherent in their chemical structure. This without doubt represents an advantage since the polyolefin membranes are not subject to the increase in rigidity which occurs over time due to migration of the plasticisers, a phenomenon to which on the other hand PVC-P is exposed. The polyolefin membranes are designated with the European acronym FPO (Flexible Polyolefin) or with the North American one (Thermoplastic Polyolefin).

The two acronyms are completely equivalent to one another; the designation TPO is more widespread and

Ciò che diversifica le membrane poliolefiniche dalle altre membrane termoplastiche è l'assenza di plastificanti, che lascia apprezzare la flessibilità insita nella loro strutturazione chimica. Questo rappresenta, senza dubbio, un vantaggio, poiché le membrane poliolefiniche non sono soggette a irrigidimenti causati nel tempo dalla migrazione dei plastificanti, fenomeno al quale è, invece, esposto il PVC-P.

Le membrane poliolefiniche sono designate con l'acronimo europeo FPO (Flexible POLyolefins) o con la sigla nord americana TPO (Thermoplastic POLyolefins).

I due acronimi sono del tutto equivalenti; oggi è più diffusa e generalmente impiegata la designazione TPO, sebbene la dizione europea FPO superi la possibile confusione interpretativa del termine termoplastico, ove si consideri che esistono prodotti termoplastici, come il PVC-P, che non sono poliolefine.

È, però, necessario chiarire che il termine TPO utilizzato per definire le caratteristiche di una membrana impermeabile è estremamente generico, salvo non sia almeno specificato il polimero di base utilizzato.

3.2.4. TPO-FPA: Poliolefine in lega di polipropilene flessibile

Uno speciale tipo di poliolefine a base polipropilenica è rappresentato dalle TPO-FPA, Flexible Polypropylene Alloy, ottenute a partire da una matrice semi-cristallina di polipropilene (PP) nella quale sono incorporate rilevanti percentuali di gomma etilene-propilene (EPR).

Le TPO-FPA costituiscono un materiale del tutto omogeneo, tenace e stabile, poiché le componenti d'origine, la gomma ed il propilene, sono strutturalmente legate nel polimero finale attraverso connessioni molecolari che si stabiliscono già durante il processo di polimerizzazione: hanno quindi caratteristiche più performanti rispetto ad un prodotto "compoundato", ottenuto cioè con procedimento semplicemente fisico di miscelazione meccanica dei componenti, realizzato fuori dal reattore chimico.

Grazie alla loro composizione chimica le membrane in TPO-FPA (es. "Sintofoil") si distinguono, in particolare, per le seguenti prerogative:

- assenza di plastificanti di cloro e altre sostanze inquinanti; nessun problema per lo smaltimento mediante processi termici; perfetta riciclabilità;
- basso peso specifico;
- elevata flessibilità;
- elevata resistenza chimica;
- elevata resistenza al calore;
- elevata resistenza all'attacco di funghi, alghe, radici, roditori;
- elevata stabilità alle radiazioni solari;
- elevata resistenza all'invecchiamento termico;
- elevate proprietà meccaniche.

generally used, although the European FPO would overcome possible confusion surrounding the interpretation of the term thermoplastic, where it should be considered that thermoplastic products exist which are not polyolefin.

It is therefore necessary to clarify that the term TPO used to define the characteristics of an impermeable membrane is extremely generic, except where at least the base polymer used is specified.

3.2.4. TPO-FPA: Polyolefin in flexible polypropylene bonds

A special type of polypropylene-based polyolefin is represented by TPO-FPAs, Flexible Polypropylene Alloy, obtained on the basis of a semi-crystalline matrix of polypropylene (PP) into which are incorporated relevant percentages of ethylene-propylene rubber (EPR).

TPO-FPAs are constituted from materials which are entirely homogenous, tough and stable, since the original components, rubber and propylene are structurally bonded in the final polymer via molecular connections which already become stable during the polymerization process: they therefore have characteristics which perform better as compared to a "compound" product, that is to say one obtained by means of what is simply a physical procedure of mechanical mixing of components; effected outside a chemical reactor.

Thanks to their chemical composition the TPO-FPA membranes (e.g. "Sintofoil") are distinguished by the following properties:

- absence of plasticisers of chlorine and other pollutant substances; no problem with smelting by means of heat processes, completely recyclable;
- low specific weight;
- high flexibility;
- high chemical resistance;
- high heat resistance;
- high resistance to attack by fungi, algae, roots and rodents;
- high stability in the face of solar radiation;
- high resistance to heat aging;
- high grade mechanical properties.

Details concerning the principal technical characteristics will follow:

3.2.5. Aeric mass

The base polymer has a specific weight of 0,89 kg/dm³; and thus, with parity of performance, it is the lightest of the products present on the market (around 5% less than HDPE; around 27% less than PVC-P), which has benefits for transport and handling of TPO-FPA membranes at places of work.

Segue una precisazione delle principali caratteristiche tecniche.

3.2.5. Massa areica

Il polimero di base ha peso specifico di 0,89 kg/dm³; pertanto, a parità di prestazioni, è il più leggero dei prodotti presenti sul mercato (circa il 5% in meno dell'HD-PE; circa il 27% in meno del PVC-P), a beneficio dei trasporti e della manipolazione delle membrane in TPO-FPA sui luoghi di lavoro.

3.2.6. Proprietà di resistenza a trazione e di allungamento sotto carico

Considerate le esigenze di esercizio di una membrana impermeabilizzante, è maggiormente indicato un materiale con basso valore del carico di snervamento (*yeld point*) ed elevato valore del carico a rottura (*break point*, correlato ad elevato allungamento a rottura).

Infatti, in virtù di tali caratteristiche, una sollecitazione meccanica di tipo puntuale, o comunque indotta su una piccola area della membrana, può essere distribuita su una porzione più ampia di materiale, consentendo alla membrana stessa di assumere la conformazione necessaria a fronteggiare il carico sollecitante, evitando rotture.

Ciò costituisce il senso fisico del punto di snervamento sulla curva carichi/allungamenti: una volta raggiunta una sollecitazione corrispondente allo *yeld point*, la membrana reagisce con una opportuna deformazione, che tende a contrastare la sollecitazione stessa attraverso la reazione creata da un'area più ampia di materiale collaborante. Durante tale fase, la resistenza esercitata dal materiale impedisce che la forza sollecitante aumenti, preservando così l'integrità della membrana. Successivamente, superato lo *yeld point*, il carico riprende a salire con allungamenti fino ad oltre il 700%.

Tale comportamento delle TPO-FPA è esplicativo della elevata tenacia del materiale e costituisce il fondamento tecnico dell'utilizzo pratico delle membrane in TPO-FPA, che sono correntemente installate in opera nella versione cosiddetta omogenea, senza armatura, anche nei casi di posa con fissaggio meccanico.

In effetti, in termini generali, la presenza di un'armatura di rinforzo in una membrana impermeabilizzante è una sorta di "male necessario", nel senso che l'armatura di rinforzo è un elemento aggiuntivo nella costruzione della membrana al quale è necessario far ricorso nel caso in cui la massa polimerica non abbia in sé le caratteristiche meccaniche richieste, in termini di resistenza, stabilità dimensionale, *et similia*.

Al contrario, nell'ipotesi in cui la massa polimerica disponga in sé la forza adeguata a contrastare le sollecitazioni ricorrenti nell'esercizio in opera, come nel caso delle TPO-FPA, aggiungere un'armatura "di rinforzo" può

3.2.6. Property of resistance to traction and elongation when subject to tensile stress

Given the operating requirements of a waterproofing membrane vital features of the material to be used are a low yield point and a high break point, correlated to a high rate of elongation at rupture.

In fact, by virtue of these characteristics, mechanical stressing of the appropriate type, or in any case induced over a small area of the membrane, can be distributed over a larger area of the material, allowing the membrane itself to assume the conformation required to counteract the stress-producing load, thus avoiding rupture.

This constitutes in the physical sense the yield point on the load/elongation curve: once a degree of stress has been attained which corresponds to the yield point the membrane will react by producing the appropriate deformation, which tends to oppose the stress itself via the reaction created, of a wider area of the material being worked with.

During this phase the resistance exerted by the material prevents the force which is generating the stress from increasing, thus preserving the integrity of the membrane. Then once the yield point is exceeded the stress-producing load will once again rise with elongation up to and beyond 700%.

Such behaviour of the TPO-FPA is explained by the high strength of the material and forms the technical foundation of the use in practice of TPO-FPA membranes which are currently incorporated into works in the version which is referred to as homogenous, without reinforcement, including in the case where they are put in place without any mechanical fixings.

In fact, in general terms, the presence of reinforcement in a waterproofing membrane is a type of "necessary evil", in the sense that the reinforcement is an additional element in the construction of the membrane to which it is necessary to resort in the case in which the polymeric mass does not in itself possess the required mechanical characteristics, in terms of resistance, dimensional stability, and similar.

On the contrary, in the hypothetical situation in which the polymeric mass in itself has sufficient strength to counteract the stresses recurring in the course of working operation, as in the case of TPO-FPAs, the adding of a "reinforcement" can contribute to reduction of the characteristics of deformability and elasticity which are typical of the material, thus causing a deterioration in the technical profile rather than an improvement in performance.

3.2.7. Resistance to laceration and to tearing

This resistance refers to the capacity of the product to counteract "tear" stressing and, in the case of this, containing it without causing any other pre-existing damage to progress. With the aim of simulating the performance

contribuire a ridurre le caratteristiche di deformabilità ed elasticità tipiche del materiale, apportando, dunque, un peggioramento del profilo tecnico, piuttosto che un miglioramento delle prestazioni.

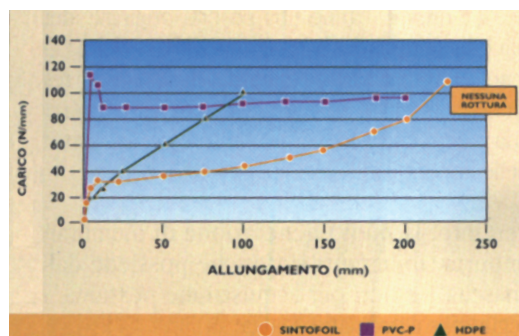


Fig. 8

3.2.7. Resistenza alla lacerazione ed allo strappo

Tale resistenza si riferisce alla capacità del prodotto di contrastare una sollecitazione "allo strappo" e, nel caso, di contenere senza farla progredire una eventuale lesione pre-esistente.

Allo scopo di simulare la prestazione della membrana fissata meccanicamente, la prova è stata effettuata praticando un foro di 15 mm al centro di un provino di 50x200 mm. La prova è proseguita trazionando un punzone inserito nel foro.

La fig. 9 fornisce un'importante descrizione della distribuzione degli sforzi che si realizzano. In una fase iniziale della sua reazione, la membrana assorbe energia in modo plastico, e si deforma, quindi, plasticamente intorno alla zona sollecitata, evitando l'ampliamento della lesione rispetto al punto in cui la medesima ha avuto origine.

La rottura della membrana può progredire solo in una fase successiva, quando, cioè, dopo essersi completamente deformata, comincia ad assorbire energia in modo elastico.

Come si vede alla fine della curva carico-allungamento, il carico è aumentato fino al limite di rottura, quando cioè le macromolecole sono completamente orientate e non possono deformarsi ulteriormente.

L'energia richiesta per unità di spessore della membrana in TPO-FPA è circa il doppio di quella richiesta dall'HDPE e circa 4 volte quella richiesta dal PVC-P.

Si tratta di un dato estremamente significativo nel caso di applicazioni con fissaggio meccanico, poiché tale tipo di sollecitazione allo strappo si verifica in corrispondenza di ciascuno dei punti di fissaggio.

of the membrane which is fixed mechanically the test has been carried out by making a 15 mm hole in the centre of a 50 x 200 mm test specimen. The test is carried out by pulling on a punch inserted in the hole.

The following fig. 9 provides an important description of the distribution of the forces which are created. In an initial phase of its reaction the membrane absorbs the energy in plastic mode, and becomes deformed, consequently, plastically around the zone which has been subject to stress, avoiding the widening of the damage with respect to the point at which the same originated.

The rupture of the membrane can only progress in a subsequent phase, when, namely, after having become completely deformed, it begins to absorb energy in an elastic manner. As one can see at the end of the load-elongation curve the load has increased up to the rupture limit, that is to say when the macromolecules are completely orientated and cannot undergo any further deformation.

The energy required per unit of thickness of TPO-FPA membrane is around double that required by the HDPE and around 4 times that required by PVC-P.

This is an extremely significant fact in the context of applications with mechanical fixings, since this type of tear stress occurred in line with each one of the fixing points.

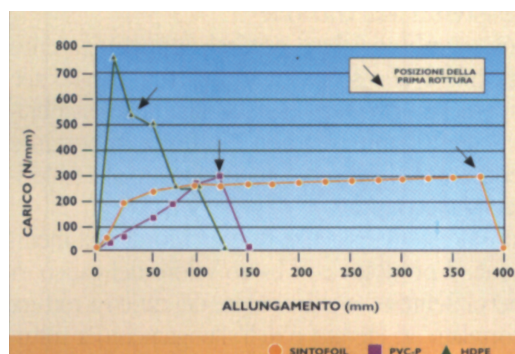


Fig. 9

3.2.8. Resistance to ageing

TPO/FPA is an intrinsically flexible material, it does not contain added plastifiers. Given its composition it is not subject to shrinkage during exposure in the course of the work and it does not show any significant variations in mechanical characteristics.

3.2.9. Resistance to biological, microbiological and chemical actions

Due to their particular molecular structure the TPO-FPA membranes have an intrinsic chemical stability and

3.2.8. Resistenza all'invecchiamento

Il TPO/FPA è un materiale intrinsecamente flessibile; non contiene additivi plastificanti. Data la sua composizione, non è soggetto a fenomeni di ritiro durante l'esposizione in opera e non denuncia significativa variazione delle caratteristiche meccaniche.

3.2.9. Resistenza alle azioni biologiche, microbiologiche, chimiche

Grazie alla propria struttura molecolare le membrane in TPO-FPA possiedono una intrinseca stabilità chimica e possono venire in contatto con una larga varietà di aggressivi, di tipo acido e di tipo basico, senza perdere le capacità performanti.

I test effettuati hanno anche dimostrato che le membrane in TPO-FPA possono essere portate a contatto di bitumi e materiali bituminosi correntemente impiegati nell'industria delle costruzioni, al contrario di quanto avviene per il PVC-P, che denuncia, in tal senso, gravi problemi di compatibilità, a motivo, in particolare, della composizione a base di plastificanti.

Esiste, inoltre, in letteratura un'ampia evidenza di studi, prove di laboratorio, e dati di campo che dimostrano come i parametri più rappresentativi della prestazioni dei teli poliolefinici non sono virtualmente influenzati da un'esposizione prolungata ad un'ampia varietà di agenti biologici e microbiologici.

Le TPO-FPA manifestano, infine, una strutturale resistenza alla penetrazione della radici.

3.2.10. Saldabilità (Welding Window)

Si stima che il 90% delle infiltrazioni provengano da mancata tenuta delle giunzioni dei teli. La "seamability", ossia la possibilità di eseguire agevolmente saldature affidabili, è, dunque, un elemento caratterizzante della qualità di un manto impermeabile. In tal senso, assume rilevanza la cosiddetta "welding window", e cioè il campo di temperature utilizzabili per una buona saldatura delle sormonte, associate ad adeguate velocità d'avanzamento.

In particolare una welding window ridotta rende infatti più difficile la saldatura. E', inoltre, preferibile, in linea di principio, che la tecnica di saldatura consenta velocità e temperature moderate. Un'eccessiva velocità impedisce infatti di raggiungere la corretta temperatura di fusione, mentre una temperatura troppo elevata determina rischi di alterazioni della membrana.

Disporre di un'ampia welding window è una versatilità tipica delle membrane in TPO-FPA, che si saldano facilmente ad aria calda in un largo range (con una temperatura in uscita dell'aria dall'ugello di 300 ÷ 500 °C).

Le membrane in TPO-FPA non risentono, pertanto, in modo rilevante delle variazioni di temperatura ambiente durante l'installazione, e favoriscono la realizzazione di giun-

can come into contact with a large variety of aggressive agents of both acid and basic types without any deterioration in performance.

The tests carried out have also shown that TPO-FPA membranes can also be placed in contact with bitumen and bituminous materials currently used in the construction industry, whilst the opposite is true for PVC-P materials, which in that sense demonstrate serious problems due in particular to their plastifier-based composition.

Furthermore, the literature on the subject provides ample evidence of studies, laboratory tests, and sample data which demonstrate how the most representative parameters of performance of these polyolefins are virtually not influenced at all by prolonged exposure to a wide variety of biological and microbiological agents.

TPO-FPA materials also show structural resistance to root penetration.

3.2.10. Weldability (Welding Window)

It is estimated that 90% of infiltrations arise from deficient sealing of the joins of the sections of material. The "weldability", that is to say the possibility of easily carrying out reliable welding, and thus creating an element which is characterized by the fact it comprises an impermeable coating. In that sense what is known as the "welding window" becomes relevant, that is to say the range of temperature at which a good weld of the overlaps may take place, associated with adequate speed of advancement of this task.

In particular a reduced welding window makes welding more difficult. It is however in principle preferable for welding technology to be used which allows moderation in terms of speed and temperature. Excessive speed in fact prevents the right fusion temperature from being attained, whilst a temperature which is too high increases the risk of deterioration of the membrane.

Having a wide welding window is typical of the versatility of TPO-FPA membranes, which weld easily with hot air over a large range (with a temperature of the air when leaving the nozzle of 300 ÷ 500 °C).

TPO-FPA membranes are not however sensitive to any significant degree to variations in ambient temperature during installation, and this benefits the realization of reliable joins in both cold and warm ambient conditions.

In this way TPO-FPA membranes may be noticeably distinguished (this is meant in a positive sense) from elastomeric synthetic membranes (typically EPDM), which cannot be hot welded, but only with the use of glues and specific sealants.

With regard to other aspects of welding TPO-FPA membranes are in addition to be preferred in relation to PVC-P plastomeric membranes, which have a greatly reduced welding window and; finally, welding of TPO-FPA membranes does not lead to the emission of any fumes,

zioni affidabili in condizioni ambientali sia fredde sia calde.

In ciò le TPO-FPA si distinguono sensibilmente (si intenda in senso positivo) dalle membrane sintetiche elastomeriche (tipicamente EPDM), che non è possibile saldare ad aria calda, ma solo con l'impiego di colle e sigillanti specifici.

In ordine agli aspetti della saldatura, le membrane in TPO-FPA si lasciano, inoltre, preferire rispetto alle membrane plastomeriche in PVC-P, che dispongono di una *welding window* ben più ridotta; infine, la saldatura delle membrane in TPO-FPA avviene senza alcuna emissione di fumi, a differenza di quanto si verifica per le membrane termoplastiche plastificate, che hanno emissioni di fumi potenzialmente nocivi.

Occorre, peraltro, prestare attenzione al fatto che le peculiarità delle differenti tipologie di materiali sintetici rendono le varie membrane sintetiche sovrapponibili e saldabili unicamente con materiali della stessa composizione. In particolare, benché non aggredibili chimicamen-

unlike in the case of plasticized thermoplastic membranes which emit potentially noxious fumes.

One should furthermore pay attention to the fact that the specific features of different types of synthetic materials mean that the various synthetic membranes can only be superimposed on and welded with materials of the same composition. In particular although they would not suffer in chemical terms from the corrosive action of plasticizers released from PVC-P materials, TPO-FPA membranes cannot be joined with these by means of thermal welding.

The principal characteristics of the materials selected are compared with those of typical PVC-P materials in the following table 2.

3.3. Method of positioning

The "waterproofing" package is thus made up of the following:

TABELLA 2 – TABLE 2

Caratteristiche <i>Characteristics</i>	Valori limite tipici <i>Typical limit values</i>		Norme riferimento <i>Reference standards</i>
	Sintofol WPS	PVC-P	
Spessore (mm) <i>Thickness (mm)</i>	≥ 2.0	≥ 2.0	UNI 8202/6
Resistenza a trazione nelle due direzioni (N/mm ²) <i>Resistance to traction in two directions (N/mm²)</i>	≥ 15	≥ 15	UNI 8202/8
Allungamento a rottura nelle due direzioni (%) <i>Elongation at rupture in two directions (%)</i>	700	250	UNI 8202/9/B
Resistenza alla lacerazione (N) <i>Resistance to laceration (N)</i>	600	100	UNI 8202/9/B
Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore <i>Resistance to water pressure at 1 MPa for 10 hours</i>	Impermeabile <i>Impermeable</i>	Impermeabile <i>Impermeable</i>	UNI 8202/21
Resistenza a trazione della giunzione rispetto al valore della resistenza a trazione su striscia <i>Resistance to traction of the join with respect to the value of the resistance to traction on a strip</i>	≥ 70%	≥ 70%	UNI 8202/30
Durezza Shore A 15 (N) <i>Shore hardness A 15 (N)</i>	Tra 75 e 90 <i>Between 75 and 90</i>	Tra 75 e 90 <i>Between 75 and 90</i>	UNI 4916
Stabilità a caldo a +70 °C <i>Heat stability +70 °C</i>	Stabile <i>Stable</i>	Stabile <i>Stable</i>	UNI 8202/18
Flessibilità a freddo <i>Flexibility in the cold</i>	Stabile a -40 °C <i>Stable at -40 °C</i>	Stabile a -30 °C <i>Stable at -40 °C</i>	UNI 8202/15
Resistenza alle soluzioni acide e alcaline (variaz. A 28 gg) <i>Resistance to acid and alkaline solutions (variat. A 28 gg)</i>	20% max allungamento <i>20% max elongation</i>	20% max allungamento <i>20% max elongation</i>	DIN 16726
Comportamento al fuoco <i>Behavior in fire</i>	B2	B2	DIN 4102/1

te dall'azione corrosiva dei plastificanti rilasciati dal PVC-P, le TPO-FPA non sono collegabili con queste attraverso connessioni termosaldate.

Le caratteristiche principali del materiale scelto a confronto con il PVC-P tipico sono indicate nella tabella 2.

3.3. Moltalità di posa

Il "pacchetto" impermeabilizzante è così costituito:

- geotessile 500 g/m²;
- 1° strato di poliolefine sp. 2mm;
- 2° strato poliolefine sp. 2mm.

Considerate le buone caratteristiche di saldabilità ad aria calda delle membrane impermeabilizzanti, la posa in opera risulta essere piuttosto agevole, grazie all'impiego di strumentazione per termosaldature.

Per sostenere le membrane lungo le pareti verticali e al di sotto della controsoletta, si posano preventivamente alcune strisce di poliolefine sul geotessile, chiodandole alla struttura, alle quali successivamente vengono saldati i teli impermeabilizzanti (figg. 10-11).

I teli impermeabilizzanti, una volta stesi, vengono affiancati con un tratto di sovrapposizione che ne consente la termosaldatura.

- geofabric 500 g/sq. m;
- 1° layer of polyolefin th. of 2 mm;
- 2° layer of polyolefin th. of 2 mm;

Given the good hot air weldability characteristics of the waterproofing membranes, the positioning of this in the construction can be made considerably easier due to the use of thermo welding instruments.

In order to support the membranes along the vertical walls and under the counter-slabbing some strips of polyolefin are placed beforehand on the geotextile, riveting it to the structure, to which the waterproofing sections are then welded afterwards (figg.10-11).

The waterproofing material sections, once extended, will be placed next to one another with an overlap to allow for thermowelding.

The quality control process in relation to product innovation, has, in addition to quality control beforehand to check the quality of the selected solution, provided for the checking of the seal of each weld carried out between the sections during the positioning procedure. It has to be checked in addition that the membrane is provided with contrasting colours of the upper and lower (Signal Layer), so as to facilitate visual checking of the whole of the surface of the same during all the phases of the work.

Given the high level of hydraulic impact, which is a little under 2 bar, so as to limit the consequences deriving from damage to the waterproofing package, it has been decided to compartmentalize the material into sectors of around 25 linear metres each (figg. 12-14), sub-divided by appropriate compartmentalization joints applied to the 2nd layer which is more internal of the polyolefin membrane, with sealing welds both on the first and the second cladding sections.

These joints are made up of a WPS strip which can be easily welded to the polyolefin section (fig. 13).

Any infiltrations, which are then thus confined, can then be easily resolved by using resin injections.

The relatively simple build up of the waterproofing system has furthermore undergone prior in-depth analysis with regard to the operational solutions for the work. For example, a study was made of the most suitable solu-

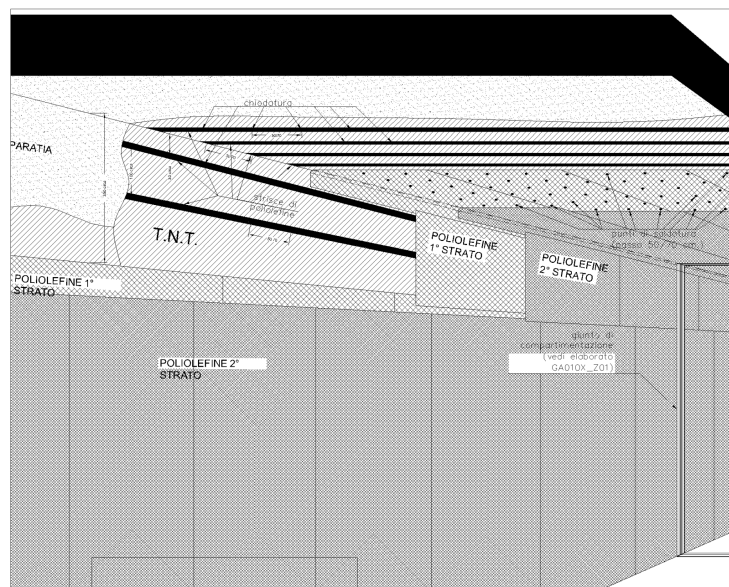


Fig. 10 - Schema di posa impermeabilizzazione nella zona di sottoattraversamento fiume Dora. Diagram showing the positioning of the waterproofing in the zone of the river Dora underpass. (welding points; pitch 50/70 cm; riveting; bulkhead; strips of polyolefin; polyolefin; polyolefin; 1st layer; 2nd layer; polyolefin; compartmentalisation joints; 1st layer; (see print-out GA10X_201); polyolefin; 2nd layer).

Il processo di qualità in relazione all'innovazione del prodotto, oltre alla preventiva qualifica volta ad accertare la bontà della soluzione individuata, ha previsto, durante la posa in opera, il controllo di tenuta per ogni saldatura effettuata tra i teli.

Deve segnalarsi, inoltre, che la membrana è realizzata con colori contrastanti tra faccia superiore e inferiore (Signal Layer), al fine di favorire il controllo visivo della integrità superficiale della stessa durante tutte le fasi di lavoro.

Stante l'elevato battente idraulico, di poco inferiore ai 2 bar, al fine di limitare le conseguenze derivanti da danneggiamenti al pacchetto impermeabilizzante si è scelto di compartimentare le superfici impermeabilizzate in settori ogni circa 25 metri lineari di canna (figg. 12-14), suddivisi da appositi giunti di compartimentazione applicati sul 2° strato più interno di membrana in poliolefine, con saldature di tenuta sia sul primo che sul secondo stato di guaina.

Tali giunti sono costituiti da una striscia in WPS che risulta facilmente saldabile al telo in poliolefine (fig. 13).

Eventuali infiltrazioni, così confinate, possono essere, successivamente, agevolmente risolte mediante l'impiego di iniezioni di resine.

La stratigrafia, relativamente semplice, del sistema impermeabilizzante ha, peraltro, comportato l'analisi preventiva ed approfondita delle soluzioni operative del lavoro. Ad esempio, è stata studiata la soluzione più idonea a fronteggiare la necessità di agganciare i solai intermedi alle paratie senza creare discontinuità di tenuta all'acqua con le membrane impermeabili. Allo scopo di meglio fronteggiare inevitabili imprevisti in corso d'opera, sono stati, inoltre, organizzati incontri tecnici con i responsabili della conduzione lavori, e seminari formativi con gli operatori addetti alle fasi di posa, organizzati dalla Imper Italia S.p.A. presso le proprie strutture del Training Center di Mappano (TO).

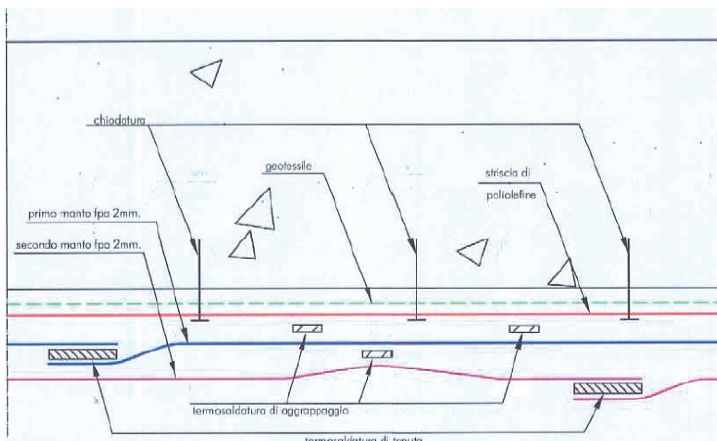


Fig. 11 - Dettaglio modalità di posa impermeabilizzazione controsoletta zona di attraversamento fiume. Detail of the method of positioning of the counter-slabbing waterproofing in the area of the river underpass (riveting; geofabric; polyolefin strip; first coating fpa 2 mm; second coating fpa 2 mm; thermowelding of fixings; thermowelding of seal).

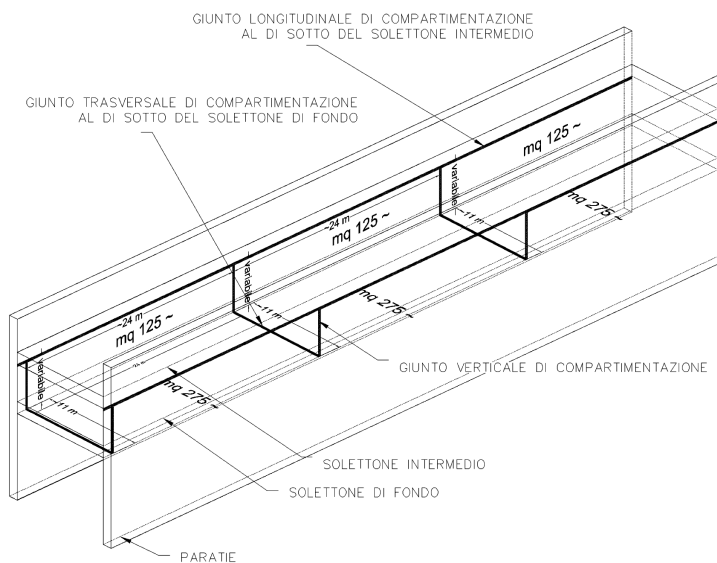


Fig. 12 - Compartimentazione dell'impermeabilizzazione di galleria. Compartmentalisation of tunnel waterproofing. (Longitudinal compartmentalisation junction under the intermediate slabbing; longitudinal compartmentalisation junction under the bottom slabbing; vertical compartmentalisation joint; intermediate slabbing; bottom slabbing; bulkhead).

tion for the tackling of the requirement to fix the intermediate floors to the bulkheads without creating a lack of continuity of the sealing against the water with the impermeable membranes. With the aim of being able to deal better with inevitable unforeseen occurrences in the

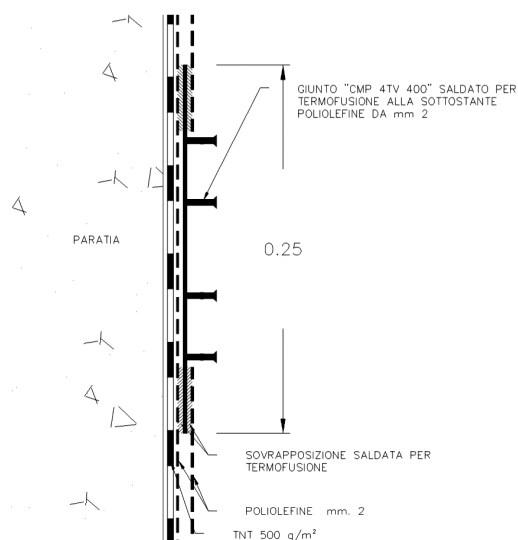


Fig. 13 - Dettaglio posa giunto in WPS. Detail of positioning of joint in WPS. ("CMP 4TV 400" joint of 2 mm welded by thermofusion to the polyolefin below; overlap welded by thermofusion; 2 mm polyolefin).

La galleria di fase Ovest è stata terminata e successivamente attivata con l'esercizio ferroviario il 19 ottobre 2009, senza evidenza di alcun tipo di perdita nell'impermeabilizzazione posta in opera.

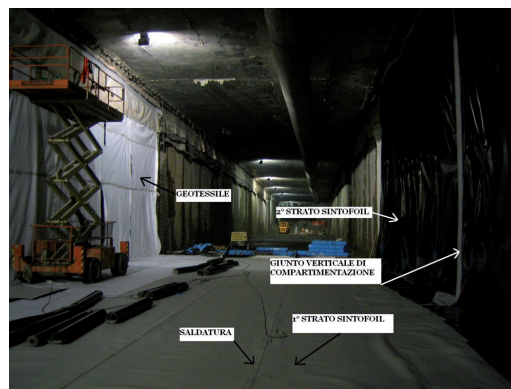


Fig. 14 - Attività di posa impermeabilizzazione in galleria. The positioning of the waterproofing in the tunnel. (Geofabric; 2nd layer of sintofoil; vertical compartmentalisation joint; 1st layer of sintofoil; welding).

course of the work technical meetings have also been organized with those responsible for directing the work, and also training seminars with the workers assigned to the positioning phases, which are organized by Imper Italia S.p.A. using the facilities of their Training Center in Mapano (TO).

The West tunnel phase was completed and then put into use with the running of the rail service on 19th October 2009, without any evidence of any type of loss of the waterproofing which had been put in place.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] H.R. BEER, S. KEISER, 2000, "Flexible polyolefin roofing membranes: ten years of field experience", Proceedings of Waterproofing technology and the environment, IXth International Waterproofing Association Congress, Amsterdam, pp. 154-172.
- [2] H.R. BEER, 1997, "Longevity and ecology of polyolefin roof membranes", Proceeding of the fourth international symposium on roofing technology, Gaithersburg, MD, pp. 14-21
- [3] H.R. BEER, 1995, "Flexible polyolefin roofing membranes properties and ecological assessment", Proceedings of waterproofing technology and the environment, IXth International Waterproofing Association Congress, Amsterdam, Holland, pp. 81-89.
- [4] R. DE PALO, 1995, "Flexible polypropylene alloys: a new generation of materials for waterproofing application", Proceedings of Waterproofing technology and the environment, IXth International Waterproofing Association Congress, Amsterdam, Holland, pp. 309-320.
- [5] R.M. PAROLI, T.R. SIMMONS, T.L. SMITH, B.A. BASKARAN, K.K.Y. LIU, A.H. DELGADO, 2000, "Thermoplastic polyolefin (TPO) roofing membrane: the north American experience", Proceedings of Waterproofing technology and the environment, IXth International Waterproofing Association Congress, Amsterdam, Holland, pp. 173-200.
- [6] A. ROTOLO, 2000, "The most recent frontiers of performance in APP modified bitumen waterproofing membranes with the use of new generation polyolefins", proceedings XIth International Waterproofing and Roofing Congress, Florence, Italy, pp. 65-79.

OSSERVATORIO

- [7] T.R. SIMMONS, D. RUNYAN, K.K.Y. LIU, R.M. PAROLI, A.H. DELGADO, J.D. IRWIN, 1999, "Evaluation of in-service thermoplastic olefin (TPO) roofing membranes", Roofing research and standards development: Fourth volume, ASTM STP 1349, pp. 19-42.
- [8] T.R. SIMMONS, D. RUNYAN, K.K.Y. LIU, R.M. PAROLI, A.H. DELGADO, J.D. IRWIN, 1999, "Effects of welding parameters on seam strength of thermoplastic polyolefin (TPO) roofing membranes", Proceedings of the north American conference on roofing technology, Toronto, ON, Canada, pp. 56-65.
- [9] 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components.
- [10] Istanbul-Turkey, May 11-14th, 2008 "Polyolefin roof membranes on site durability evaluation".



Il nostro talento non si ferma mai
Our skill never stops

www.spil.it

SPII
TALENTO TECNOLOGICO IN EVOLUZIONE
Technological skill in evolution

active chaos