



David Tobler

SIKA

## 🇬🇧 Structural polyurethanes – The gold standard for composite boat building

### 🇮🇹 Poliuretani strutturali – Il gold standard per la costruzione di imbarcazioni con materiali compositi

Composite boat construction increasingly relies on structural adhesive bonding for primary joints such as stringers, bulkheads, and deck-to-hull connections, because it enables faster, cleaner production with better damage tolerance than purely laminated or mechanically fastened joints.

While MMA adhesives are frequently over-specified due to their high mechanical strength, this paper argues that structural polyurethanes provide a superior balance of strength, elasticity, processability, and cost efficiency for most marine applications.

Excessive strength without regard to load behavior, heat generation, and production realities can increase risk rather than reduce it.

#### ROLE OF ADHESIVE BONDING IN COMPOSITE HULLS

The construction of GRP boats is usually carried out by molding the hull and deck separately and then joining them together. At the same time, the internal structure (stringers, floors, and bulkheads) is adhesively bonded to a cured hull shell.

This approach avoids drilling through laminates for mechanical fasteners, which preserves fiber continuity, improves fatigue life and simplifies sealing of critical joints.

Key functions of adhesive-bonded joints:

- Transfer global loads between the hull, deck, and internal grid without stress concentrations from bolts or screws.
- Provide gap-filling capability to accommodate molding tolerances, especially at stringer landings and bulkhead flanges.
- Improve acoustic damping and vibration behavior compared with stiff tabbing only.

*La costruzione di imbarcazioni con materiali compositi fa sempre più affidamento sull'incollaggio strutturale per giunzioni primarie quali longheroni, paratie e giunzioni scafo-co-perta, poiché questa tecnologia consente una produzione più rapida e pulita, con una migliore tolleranza al danneggiamento rispetto alle giunzioni esclusivamente laminate o fissate meccanicamente.*

*Sebbene gli adesivi MMA siano spesso sovra-specificati per via della loro elevata resistenza meccanica, questo articolo sostiene che i poliuretani strutturali offrano, per la maggior parte delle applicazioni in ambito nautico, un equilibrio superiore tra resistenza, elasticità, processabilità ed efficienza dei costi. Una resistenza eccessiva, non accompagnata da un'adeguata considerazione del comportamento sotto carico, della generazione di calore e delle realtà produttive, può aumentare il rischio anziché ridurlo.*





## COMMON STRUCTURAL ADHESIVES FOR COMPOSITE BOAT BUILDING

### Structural MMA adhesives

MMA (structural acrylic) adhesives have become standard in many composite boatyards because they combine high lap-shear strength with useful flexibility and excellent adhesion to cured polyester/vinyl ester laminates with minimal surface preparation. They offer rapid cure and good gap-filling, which is attractive for stringer, bulkhead, and deck-to-hull bonding where cycle time is critical. However, MMAs generate significant exothermic heat in thick bond lines, which can cause surface deformation or bond-line read-through, especially on light skins and gelcoats; in addition, their strong odor and VOC emissions impose ventilation and HSE burdens in closed molding shops. These factors can limit bead size or require staged application on large boats, adding complexity for high-volume production.

### Structural polyurethane adhesives

Structural polyurethanes provide a combination of flexibility, impact resistance, and structural strength well matched to dynamic marine load cases and dissimilar joint designs. Their lower crosslink density compared with rigid acrylics and epoxies allows them to absorb differential movement between hull, deck, cores, and internal structure without cracking, which is valuable in long deck-to-hull seams and large bulkhead T-joints.

From a process standpoint, two-component polyurethanes, such as SikaForce®-436, are available with tailored open times and viscosities, and they work efficiently with meter-mix-dispense equipment for high-volume, repeatable stringer and grid bonding. SikaForce®-436 is



## RUOLO DELL'INCOLLAGGIO CON ADESIVI NEGLI SCAFI IN COMPOSITO

*La costruzione di imbarcazioni in vetroresina (GRP) viene generalmente eseguita stampando separatamente scafo e coperta, per poi unirli successivamente. Parallelamente, la struttura interna (longheroni, madieri e paratie) viene incollata con adesivi allo scafo già polimerizzato.*

*Questo approccio evita la foratura dei laminati per l'inserimento di fissaggi meccanici, preservando la continuità delle fibre, migliorando la resistenza alla fatica dei materiali e semplificando la sigillatura dei giunti critici.*

*Funzioni principali dei giunti incollati strutturalmente:*

- *Trasferire i carichi globali tra scafo, coperta e griglia strutturale interna senza concentrazioni di tensione dovute a bulloni o viti.*
- *Compensare giochi e tolleranze di stampaggio grazie alla capacità di riempimento del giunto, in particolare nei punti di appoggio dei longheroni e nelle flange delle paratie.*
- *Migliorare lo smorzamento acustico e il comportamento alle vibrazioni rispetto al solo rinforzo mediante fasciature rigide.*

## ADESIVI STRUTTURALI COMUNI NELLA COSTRUZIONE DI BARCHE IN COMPOSITO

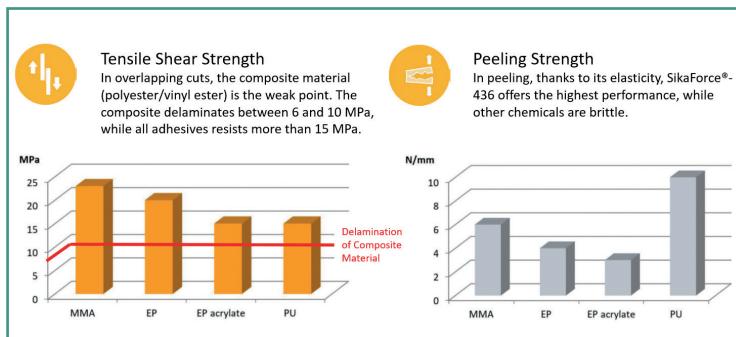
### Adesivi strutturali MMA

*Gli adesivi MMA (metacrilati strutturali) sono diventati uno standard in molti cantieri nautici per lavorare con i materiali compositi, poiché combinano un'elevata resistenza a taglio in aggiunta ad una utile flessibilità e ad un'ottima adesione su laminati poliestere e vinilesterè già polimerizzati, con una preparazione superficiale minima. Offrono tempi di reticolazione rapidi e buone capacità di riempimento, caratteristiche apprezzate per l'incollaggio di longheroni, paratie e giunzioni scafo-coperta, dove il tempo di ciclo in produzione è critico.*

*Tuttavia, gli MMA generano una significativa reazione esotermica nei giunti di grande spessore, che può causare deformazioni superficiali o la trasparenza della linea di incollaggio, soprattutto su pelli sottili e gelcoat. Inoltre, il forte odore e le emissioni di VOC comportano maggiori requisiti di ventilazione e sicurezza (HSE) negli ambienti di produzione in ambiente chiuso. Questi fattori possono limitare la dimensione del cordolo o richiedere applicazioni in più fasi su imbarcazioni di grandi dimensioni, aumentando la complessità nei contesti di produzione ad alto volume.*

### Adesivi poliuretanici strutturali

*Gli adesivi poliuretani strutturali offrono una combinazione di flessibilità, resistenza agli urti e resistenza strutturale particolarmente adatta ai carichi dinamici tipici dell'ambiente marino e ad incollaggi tra materiali dissimili. La loro minore densità di reticolazione rispetto agli acrilici rigidi e agli adesivi epossidici consente di assorbire i movimenti*



an IMO, RINA and BV approved marine-grade systems that exhibit low odor and lower exotherm in thick sections, reducing the risk of heat-induced defects such as gelcoat read-through, print-through of the bond line, and local warpage or cracking of thin skins.

#### STRENGTH IS NOT THE SAME AS STRUCTURAL SAFETY

A common misconception in boat design is that higher adhesive strength automatically equals a safer structure. Composite hulls are flexible and subjected to dynamic, cyclic loads, making stress distribution essential for long-term durability. When adhesive bonds are overly stiff, they can transfer loads directly into the surrounding laminate, increasing the risk of edge cracking and reducing fatigue life. In many cases, MMA adhesives exceed the strength of the composite itself, shifting failure modes from the bond line into the laminate. While MMAs are frequently justified by impressive laboratory performance, real-world production conditions reveal important drawbacks, including strong odor, narrow processing windows, increased health and safety requirements, and a higher risk of scrap and rework. In high-volume boat building, process robustness and repeatability often outweigh marginal gains in ultimate strength.

MMAs can be appropriate for bonding dissimilar substrates, controlled thin bond lines, or localized reinforcement. However, their blanket specification for structural bonding in composite boats is rarely justified from either a technical or economic standpoint.

#### BENEFITS OF STRUCTURAL POLYURETHANES FOR COST-EFFECTIVE PRODUCTION

##### Improved application and shop environment

Polyurethane adhesives' rheology and cure profile support continuous, high-volume application with robotic or manual meter-mix guns, allowing long, continuous beads for stringers, bulkheads, and deck-to-hull joints without frequent cartridge changes.

Latest developments like Sika's Cure by Design technology allow reaching beyond typical limits by further optimizing the combination of long working time with fast cure time.

differenziali tra scafo, coperta, anime e struttura interna senza fessurazioni, aspetto particolarmente vantaggioso nelle lunghe giunzioni scafo-coperta e nei grandi giunti a T delle paratie.

Dal punto di vista del processo, i poliuretani bicomponenti, come SikaForce®-436, sono disponibili con tempi aperti e viscosità personalizzate e risultano ideali per l'impiego con sistemi di dosaggio, miscelazione e applicazione (meter-mix-dispense) in produzioni ad alto volume e con elevata ripetibilità per l'incollaggio di longheroni e griglie strutturali.

SikaForce®-436 è un sistema adesivo per ambienti nautici approvato IMO, RINA e BV, caratterizzato da basso odore e ridotta esotermia nelle sezioni spesse, riducendo il rischio di difetti indotti dal calore quali la trasparenza del gelcoat, la marcatura della linea di incollaggio e deformazioni locali o fessurazioni delle pelli sottili.

#### LA RESISTENZA NON EQUIVALE ALLA SICUREZZA STRUTTURALE

Un errore comune nella progettazione in ambito nautico è ritenere che una maggiore resistenza dell'adesivo corrisponda automaticamente a una struttura più sicura. Gli scafi in composito sono flessibili e soggetti a carichi dinamici e ciclici; una corretta distribuzione delle tensioni è quindi essenziale per la durabilità a lungo termine.

Quando i giunti adesivi sono eccessivamente rigidi, i carichi vengono trasferiti direttamente al laminato circostante, aumentando il rischio di formazione di crepe sui bordi e riducendo il numero di cicli di carico ripetuti. In molti casi, gli adesivi MMA superano la resistenza del composito stesso, spostando il meccanismo di cedimento dalla linea di incollaggio al laminato.

Sebbene gli MMA siano spesso giustificati da prestazioni di laboratorio impressionanti, le condizioni reali di produzione evidenziano importanti svantaggi: odore intenso, tempi di lavorazione ristretti, maggiori requisiti di salute e sicurezza e un rischio più elevato di scarti e rilavorazioni. Nella costruzione di imbarcazioni in serie, la robustezza del processo e la ripetibilità risultano spesso più importanti di marginali incrementi della resistenza finale. Gli MMA possono essere appropriati per l'incollaggio di substrati con materiali non simili tra loro, giunti sottili controllati o rinforzi localizzati. Tuttavia, la loro specifica indiscriminata per l'incollaggio strutturale di imbarcazioni in composito è raramente giustificata sia dal punto di vista tecnico che economico.

#### VANTAGGI DEI POLIURETANI STRUTTURALI PER UNA PRODUZIONE ECONOMICAMENTE EFFICIENTE

##### Migliore applicazione e ambiente di lavoro

La reologia e il profilo di reticolazione degli adesivi poliuretanici supportano applicazioni continue ad alto volume con pistole ad uso manuale o robotizzate, a dosaggio e



- Faster tack times with fewer interruptions for adhesive changeover or odor-related ventilation cycles.
- Lower exotherm and reduced cosmetic rework.

Because polyurethanes typically develop lower peak exotherm than fast MMA or heavily filled polyester pastes, they minimize thermal gradients and shrinkage around thick bond lines. This reduces bond-line read-through, gelcoat print-through, and distortion in topsides and decks, which are common sources of cosmetic rework and warranty claims.

Reduced heat-induced damage leads to:

- Less post-cure fairing and painting to hide telegraphing at stringer and bulkhead locations.
- Lower risk of micro-cracking and long-term crazing around deck-to-hull joints subjected to sunlight and thermal cycling.

### STRUCTURAL PERFORMANCE AND LIFECYCLE COST

The combination of strong adhesion, toughness, and flexibility gives polyurethane-bonded joints superior fatigue performance under wave-induced hull flexure and slamming loads, particularly at transitions between stiff bulkheads and relatively flexible hull panels. By reducing crack initiation and propagation, these joints help maintain stiffness and alignment over the vessel's life, lowering the probability of structural repairs or intrusive re-tabling. When production labor, rework, ventilation, and warranty exposure are considered, structural polyurethane systems can deliver a lower total cost of ownership for the yard than alternatives, even if unit material cost per kilogram is higher than polyester paste and comparable to MMA. However, the indiscriminate pursuit of maximum strength has led to the over-specification of MMA adhesives. For series-built composite boats, the balance of application efficiency, cosmetic stability, and durable performance makes structural polyurethanes a compelling choice for stringers, bulkheads, and deck-to-hull bonding.

miscelazione, consentendo la deposizione di lunghi cordoli continui per longheroni, paratie e giunzioni scafo-coperta senza frequenti sostituzioni delle cartucce.

Gli sviluppi più recenti, come la tecnologia 'Cure by Design' di Sika, permettono di superare i limiti tradizionali ottimizzando ulteriormente la combinazione tra un lungo periodo di tempo di lavorabilità e rapida reticolazione dell'adesivo.

- Tempi di adesivazione più rapidi, con meno interruzioni dovute al cambio adesivo o ai cicli di ventilazione legati agli odori.
- Minore esotermia e riduzione delle rilavorazioni estetiche.

Poiché i poliuretani sviluppano generalmente picchi esotermici inferiori rispetto agli MMA rapidi o alle paste poliestere caricate in modo importante, essi riducono i gradienti termici e il ritiro dell'adesivo quando il giunto è più spesso. Ciò limita la visibilità della linea di incollaggio, la stampa sul gelcoat e le deformazioni nelle parti superiori delle imbarcazioni e dei deck, che rappresentano cause frequenti di rilavorazioni estetiche e reclami in garanzia.

La riduzione dei danni indotti dal calore comporta:

- Minori interventi di stuccatura e verniciatura post-reticolazione per mascherare le marcature in corrispondenza di longheroni e paratie.
- Ridotto rischio di micro-fessurazioni e di crazing a lungo termine nelle giunzioni scafo-coperta esposte a irraggiamento solare e cicli termici.

### PRESTAZIONI STRUTTURALI E COSTO DEL CICLO DI VITA

La combinazione di forte adesione, tenacità e flessibilità conferisce ai giunti incollati con poliuretano, prestazioni a fatica superiori sotto le flessioni dello scafo indotte dalle onde e i carichi di impatto (slamming), in particolare nelle zone di transizione tra paratie rigide e pannelli di scafo relativamente flessibili.

Riducendo l'innesto e la propagazione delle crepe, questi giunti contribuiscono a mantenere rigidità e allineamento per tutta la vita dell'imbarcazione, diminuendo la probabilità di riparazioni strutturali o di costose rilaminazioni.

Se si considerano i costi di manodopera, rilavorazione, ventilazione e garanzia, i sistemi poliuretanici strutturali possono offrire al cantiere un costo totale di proprietà inferiore rispetto alle alternative, anche qualora il costo unitario del materiale per chilogrammo sia superiore a quello delle paste poliestere e comparabile a quello degli MMA.

Tuttavia, la ricerca indiscriminata della massima resistenza ha portato a una sovra-specifica degli adesivi MMA. Per le imbarcazioni in composito prodotte in serie, l'equilibrio tra efficienza applicativa, stabilità estetica e prestazioni che durano nel tempo rende i poliuretani strutturali una scelta particolarmente valida per l'incollaggio di longheroni, paratie e giunzioni scafo-coperta.