

Analisi dei parametri tecnico-produttivi relativi a processi di stampaggio per infusione di carene di medie dimensioni (parte I)

Analisis of technical/production parameters of infusion manufacturing processes for medium sized hulls (part I)

Giuseppe Coccia

Valutazioni preliminari, scelta delle materie prime, considerazioni progettuali

Introduzione

Il processo di stampaggio manuale di imbarcazioni in vetroresina, è – da circa quaranta anni – la tecnologia più adoperata dalla maggioranza delle aziende nautiche grazie alla sua apparente semplicità di esecuzione, alla possibilità di lavorare senza l'ausilio di un controstampo da realizzare, e a causa – almeno fino a pochi anni fa – della mancanza di una chiara regolamentazione sui VOC ambientali.

Di fatto, fino ad oggi, non essendoci stati motivi vincolanti per allontanarsi da un modo di lavorare ormai consolidato e collaudato, pochissime sono state le aziende che hanno spinto, investito e studiato tecniche di lavorazione diverse da quelle che sono (da decenni) le metodologie tradizionali.

Limitazioni dell'Hand-Lay up

Nel caso specifico dello stampaggio di scafi in PRFV, è noto che le matrici più comunemente impiegate sono generalmente a base di resine poliesteri.

Le resine poliesteri, si ottengono mediante un processo di policondensazione tra acidi polibasici ed alcoli polivalenti. Se l'acido è insaturo, questi poliesteri possono copolimerizzare con lo stirene,

monomero insaturo dannoso per la salute dell'uomo, ottenuto dalla deidrogenazione dell'etilbenzene a pressione atmosferica a 600°C circa.

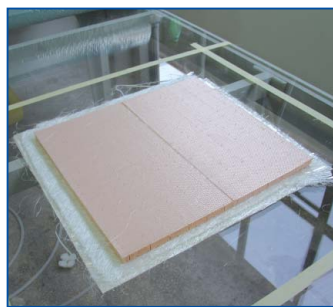
Il processo chimico-fisico del passaggio dello stirene nella fase vapore presente in tutte le laminazioni a 'stampo aperto', chiaramente, con l'ausilio delle tecnologie che sfruttano il sottovuoto viene quasi completamente a scomparire.

Il problema ambientale, tuttavia, seppure determinante, non è stato l'unico propulsore dello sviluppo delle tecnologie d'infusione.



In effetti, in virtù dell'estrema artigianalità del processo, spesso il risultato finale dell'hand-lay up è funzione – fondamentalmente – dell'abilità manuale dell'esecutore che ha operato.

In aggiunta v'è da dire – co-



Preliminary estimations choice of raw materials structural design considerations

Background

For the last 40 years or so hand and spray lay-up have been the predominant manufacturing processes for the production of GFRP boats. They are relatively easy to work, allow the use of female molds and, until recently, the regulations regarding emissions were fairly relaxed. In fact, until the advent of stricter emissions regulations, there was very lit-

undoubtedly polyester resin. Polyester resins are produced through a process of poly-condensation between poly-basic acids and polyvalent alcohol.

If the acid is unsaturated, these polyesters can co-polymerize with styrene, the unsaturated monomer obtained out of de-hydrogenation of the ethyl benzene at atmospheric pressure and at about 600°C. The product that is created is a polymer with a three-dimensional structure that is infusible and insoluble.

Evaporation of the styrene during hand or spray laminating process is a harmful chemical-physical process that is almost completely eliminated by the use of infusion molding techniques.

However, in addition to the environmental issues, there are many negative aspects to the hand/lay-up process particular in terms of quality as the finished laminate is heavily dependent on the relative skill of the individual.

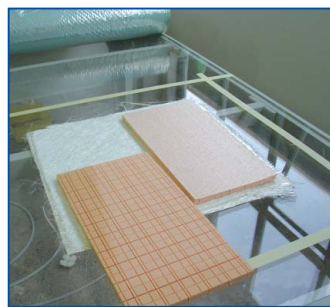
Moreover, even when the skill level is high, it is difficult to achieve fiber fractions of more than 40% and to eliminate the problems associated with air entrapment.

Regarding mechanical properties, it is clear that laminates manufactured using the infusion process are considerably superior to those produced by hand lay-up. Four point bending tests to ASTM 790 Norm show that infusion laminates have 20%

tle motivation for the vast majority of boat builders to change their working process.

Hand/Lay-Up Limitations

The most commonly used matrix for GFRP boats is



me è ampiamente dimostrato – che l'incremento delle proprietà meccaniche di provini ottenuti per infusione rispetto a quelli realizzati a mano sono nella maggioranza dei casi realmente considerevoli. A titolo di esempio, alcuni studi di recente pubblicazione relativi ad alcune prove di flessione effettuate secondo la norma ASTM 790, mostrano – a deformazione imposta – un aumento della tensione di rottura del 20 % circa per i campioni realizzati con l'infusione.

L'ultima, ma non per importanza, gravosa limitazione dell'hand lay up è legata essenzialmente agli aspetti squisitamente produttivi del processo: ogni azienda che miri ad una produzione seriale, non può essere penalizzata dalla eccessiva variabilità dei tempi di esecuzione legati alle lavorazioni manuali.

È indubbio, infatti, che per lavorazioni artigianali, non è semplice stabilire univocamente una tempistica produttiva che sia indipendente dalla squadra di operatori che è designata per quella particolare lavorazione.

In ultima analisi, dunque, un'azienda che ambisca ad essere realmente competitiva nella produzione di serie di imbarcazioni deve assolutamente concentrare i suoi sforzi congiuntamente sull'aumento delle performances qualitative oltrechè sul miglioramento dei tempi e metodi di produzione.

Solo in tal modo, infatti, è possibile presentare al mercato un prodotto competitivo ad alto rapporto qualità/costo.

Approccio al processo d'infusione

A seguito di attente valutazioni, Fiat Mare ha deciso di investire le sue risorse nello studio e nell'applicazione delle tecnologie di infusione. Pertanto, in seguito ad uno screening iniziale di quelle che erano le soluzioni proposte da diverse società di engineering e/o di servizi tecnici

ad aziende del settore compositi, l'azienda ha scelto il Core Infusion Process per stampare i suoi scafi.

Questo metodo consiste, come tutti i sistemi di infusione, nella applicazione a secco – dopo un skincoat manuale – di un determinato numero di layer vetrosi, dei materiali d'anima, delle canaline per l'immissione della resina e della linea di vuoto perimetrale, del controstampo flessibile (sacco) e dei collegamenti con le resin trap.

Terminata questa fase, si passa all'infusione vera e propria grazie al vuoto realizzato da un'apposita pompa collegata tramite un vacuum tank alle resin trap che a loro volta trasportano il vuoto allo stampo attraverso la linea perimetrale.

La vera novità del metodo, tuttavia, consiste nella facilità di impregnazione dello scafo grazie alla particolare sagomatura del materiale d'anima impiegato.

Quest'ultimo, infatti, presenta tutta una serie di fori perpendicolari, di canali longitudinali e trasversali, che permettono alla resina di fluire perfettamente in tutto lo stampo.

A questo punto, una volta scelta la tecnologia (l'infusione), si è iniziata la graduale ma radicale reingegnerizzazione del prodotto, la conversione delle maestranze e delle tecnologie produttive.

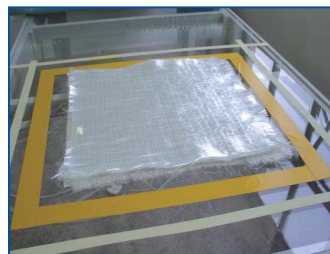
Materie Prime

Un cantiere che si affaccia all'utilizzo di una nuova tecnologia deve innanzitutto porsi il problema delle materie prime da utilizzare. Nel settore delle imbarcazioni da diporto la scelta di queste ultime, invero, si riduce a pochissimi ma fondamentali punti, ossia: le fibre, le resine, gli eventuali materiali d'anima.

Per quanto riguarda i rinforzi vetrosi, intanto, nei processi di stampaggio manuale vengono spesso adoperate (oltre ai classici Mat di varie grammature) le cosiddette

higher oexural strength than an equivalent hand lay-up laminate.

Equally important, is that it is difficult to efficiently plan a serial, multi-stage production operation where a significant element (the hand/lay-up component) is subject to time variations due to the



varying skills/speed of the operators.

This last point convinced us that if a company wants to be really competitive in serial, multi-stage production it has to concentrate absolutely on the increase of the qualitative production performances instead of improving the time and production methods. In fact, it is only in this way that we believe that it will be possible to offer a competitive product on the market with a high quality/good price relationship.

Approach to the Infusion Process

After some consideration, it was decided at Fiat Mare SpA to focus our resources on the study and application of infusion technology.

Following the careful evaluation of proposed solutions from different companies, the technical management of Fiat Mare chose the Core Infusion Process to stamp its hulls. This method, like every infusion system, consists of



the dry application (following a manual skin coat) of a certain number of fiber layers, the core materials, the resin feed lines, the vacuum lines, a flexible vacuum bag, the resin trap connections and a vacuum pump.

Once the lay-up of the materials is complete and all connections are made, the actual infusion process takes place with the vacuum both drawing the resin through the laminate and providing laminate consolidation.

With this approach, the transfer of the resin through the laminate is carried out by the core material (a PVC foam) which features a series of grooves at 0/90° and perforations.

Once the decision was taken to use the infusion method, a plan was implemented to re-engineer the product, re-train production personnel and re-organize the production line.

Basic Materials

The first thing a boat yard has to do when it decides to apply a new composite manufacturing technology, is to reevaluate its current materials. In the pleasure boat sector, this choice is reduced to three fundamental elements: the fiber, the resin and possible core materials.

In manual molding chopped strand mat (CSM) and woven rovings tend to be the dominant materials.

Following a carefully analysis of both materials, it was decided for two reasons that neither of these was suitable for the resin infusion process:

1. The random nature of CSM does not allow a smooth resin flow.
2. Both materials cannot be readily conformed to the shape of the mold when in their dry state.

Therefore we needed to choose new reinforcements that would offer equal or superior mechanical characteristics to the existing pro-

‘stuoie’ di vetro, ossia tessuti in cui le fibre a diversa orientazione vengono intrecciate fra di loro.

Da un’analisi attenta, questa fitta rete di intrecci non si presta ad essere ottimale per un processo di infusione della resina sostanzialmente per due motivi:

1. la fitta rete di intrecci non permette alla resina di fluire in maniera ottimale.
2. La fitta rete di intrecci non consente la facile conformazione dei tessuti che devono essere depositati a secco nello stampo ed ivi adagiarsi perfettamente.

Di qui è nata l’esigenza di scegliere nuovi prodotti sul mercato che presentando pari (o superiori) caratteristiche meccaniche rispetto alle fibre intrecciate (woven roving), consentivano comunque di superare le limitazioni di cui si è accennato.

Di qui, la decisione di usare i tessuti multiassiali.

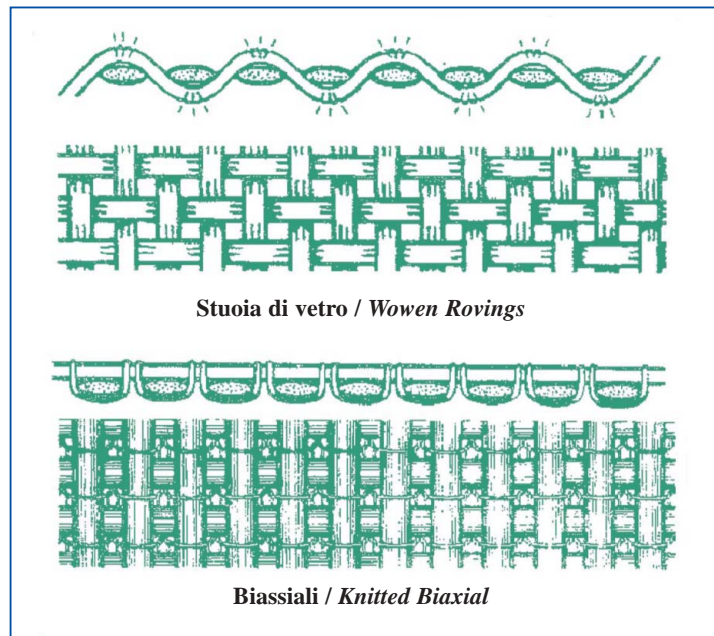
Nella tecnologia multiassiale, le fibre non sono intrecciate ma dritte e posizionate in maniera parallela secondo determinate direzioni.

Grazie a questa disposizione e grazie alla possibilità di avere tessuti anche più ‘aperti’, la resina non solo aderisce meglio ad ogni singola fibra ma riesce a fluire con maggiore facilità penetrando in maniera ottimale fra gli strati.

Tutto ciò garantisce, naturalmente, una completa bagnabilità anche in tempi minori rispetto ai tessuti tradizionali.

Inoltre, grazie alla particola-

[Fig. 1] - Differenze morfologiche fra due rinforzi diversi: stuoia di vetro e Biassiali / Comparison between woven rovings and stitched biaxial



re conformazione dei multiassiali, l’operatore – per la maggiore conformabilità degli stessi - sarà sicuramente facilitato nell’adagiarli a secco nello stampo.

Difatti, nell’infusione - rispetto alla laminazione manuale - la resina polimerizza in massa. In altre parole, mentre con l’hand lay up, laminando uno strato per volta, il fenomeno della polimerizzare riguarda un numero relativamente esiguo di chilogrammi di resina, nell’infusione avviene il contrario.

Di conseguenza, con l’infusione, sono maggiori le probabilità di avere fastidiosi ritiri nella vetroresina polimerizzata con conseguente aumento del numero di ore di carrozzeria necessarie per conferire alla superficie del manufatto l’aspetto desiderato.

ducts while at the same time being compatible with the infusion process. We decided to opt for multi-axial reinforcements.

In the multi-axial technology, the fibers in each layer are not woven but run parallel to each other. This type of more ‘open’ reinforcement not only allows the resin to more readily flow and adhere to every fiber but also better resin penetration between each layer. The end result is complete impregnation in less time than more traditional ‘boat building reinforcements’. Moreover, the better conformability of multi-axials makes it easier for the operator to lay them up in their dry state.

Besides, with infusion – compared to manual lamination – the resin polymerizes in mass. In other words, while with hand lay up, laminating

layer by layer, the polymerization is carried out with relatively small amounts of resin. With infusion this is the contrary. As a result, with infusion there is a greater chance of experiencing shrinkage problems that could directly impact on the surface finish of the vessel.

With the construction of the multi-axials, on the other hand, there are much fewer areas where resin could accumulate leading to shrinkage problems.

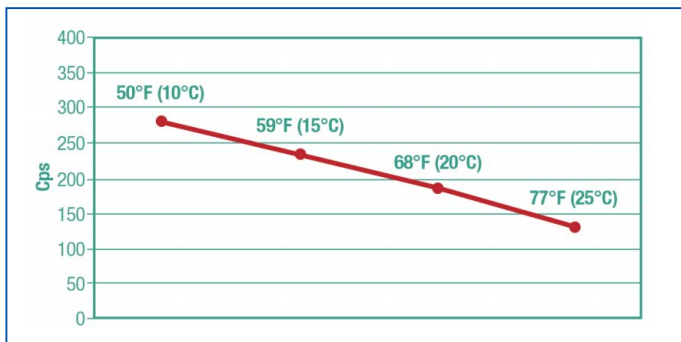
Once the fibers have been chosen, the next task for the boat yard is to select a resin that is suitable for the particular infusion process that is going to be used.

There are two basic parameters that the technical team have to take into consideration during the evaluation process.

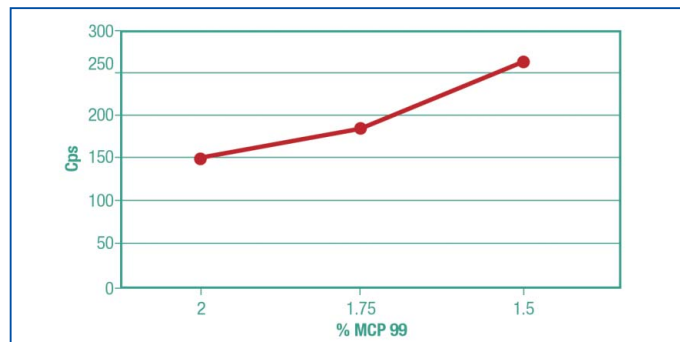
The first is the resin flow characteristics. Conventional hand lay-up resins cannot be used due to their relatively high viscosity. Secondly a good infusion resin must ideally have zero shrinkage to ensure an A1 surface finish. In the pleasure boat market, the quality of the surface finish of the hull can be as important to the customer as the absence of structural defects.

Therefore at Fiart Mare, although we are currently evaluating ‘anti-print through’ gelcoats, we still use a skin coat or-as it is sometimes referred to - a tie coat. After a lengthy series of experiments, we decided to opt for an epoxy-vinylester for the skin coat and an isophthalic polyester infusion resin.

[Tab. 1] - Viscosità della resina in funzione della temperatura / Resin viscosity related to temperature



[Tab. 2] - Gel-time della resina adoperata / Resin gel time at 64.4°F (18°C)



Fatta la scelta delle fibre da adoperare, sicuramente, il passo successivo per il cantiere è valutare l'approvvigionamento di una resina adeguata per il processo in questione.

I parametri in base ai quali il tecnologo deve valutare la resina sono essenzialmente di due tipi. In primo luogo è necessario disporre di un prodotto che sia dotato di una fluidità soddisfacente. L'utilizzo delle resine tradizionali che mostrano viscosità molto elevate anche ad alte temperature ambientali, difatti, sicuramente non può essere preso in considerazione a causa della scarsa fluidità che esse presentano. In secondo luogo una buona resina per infusione oltre a presentare una viscosità sufficientemente bassa in un range di temperature sufficientemente largo (15°C / 25 °C) deve essere accompagnata da una percentuale di ritiro prossima allo zero percentuale. Per un cantiere di nautica da diporto, infatti, la finitura superficiale, la brillantezza delle superfici, l'assenza totale di marcatura delle fibre sono considerati tanto importanti quanto l'assenza di delaminazioni e difetti strutturali.

In altre parole, l'esigenza del diportista porta i cantieri nautici a concentrare tutti i propri sforzi oltre che sulla bontà delle caratteristiche strutturali, anche sulle performances estetiche dello scafo.

Per tale motivo, sebbene il cantiere stia valutando la possibilità di adoperare particolari gelcoat anti print-through, attualmente non ha ancora abbandonato la strada di effettuare uno skin coat manuale.

A tal uopo sono state valutate tutta una serie di resine per l'ottimizzazione dello skin coat contro il print trough. A valle di tutta una serie lunga di sperimentazioni, il cantiere, attualmente, sta adoperando delle resine da skin-coat di tipo epossivinilestere e delle resine isoftaliche per

il processo di infusione. In particolare, nei diagrammi che seguono è possibile leggere le caratteristiche fisiche principali delle resine adoperate dal cantiere per il processo d'infusione.

L'ultimo fondamentale problema del tecnologo che voglia avvicinarsi al processo di infusione è sicuramente la scelta del diffusore/canalizzatore del flusso di resina. Il materiale d'anima DIAB è particolarmente performante in tal senso: esso infatti propone come diffusore, al posto delle reti di distribuzione, lo stesso materiale adoperato come core material. Infatti, il PVC espanso viene lavorato con una macchina a controllo numerico che gli conferisce tutta una serie di canali per il passaggio della resina trasformandosi in tal modo, oltre che in un materiale d'anima che contribuisce all'irrigidimento della struttura, anche in un efficacissimo diffusore per la resina.

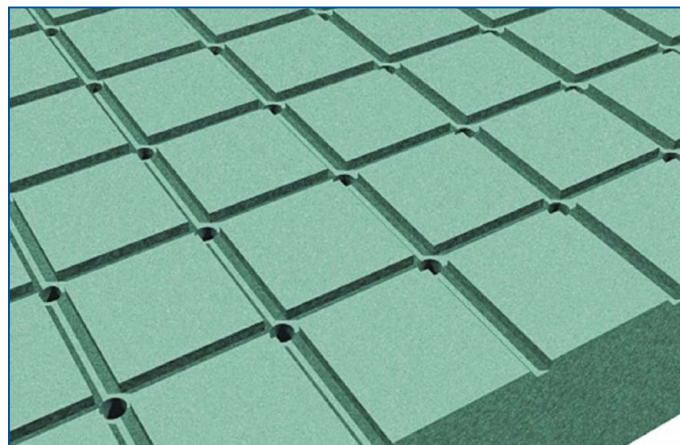
A tal riguardo, l'ultimo passo che il cantiere ha valutato è stato l'approvvigionamento di appositi kit pretagliati di termanto. I pezzi di questi kit, opportunamente numerati e facilmente identificabili, devono pertanto essere solo posati in opera con un enorme vantaggio sul dispendio di mano d'opera.

Valutazioni Progettuali

Il dimensionamento strutturale di un'imbarcazione è un procedimento che – almeno nella maggioranza dei casi – viene effettuato dal progettista che opera in un cantiere di nautica da diporto secondo le modalità suggerite dai registri navali.

Questa situazione, invero, limita la fattibilità di un progetto strutturale a 'misura di tecnologia'. In altre parole, fino a pochissimo tempo fa, non esisteva un regolamento normativo che consentisse di dimensionare uno scafo in composito tenendo presente tecniche di stampaggio che

[Fig. 2] - PVC espanso da infusione, kit dtermato presagomati / Grooved and perforated infusion foam



The principle characteristics of the isophthalic polyester infusion resin are shown in [tab. 1 and 2].

Another fundamental choice that has to be made when going the infusion route is what medium should be used to rapidly and efficiently transfer the resin through the laminate stack. In our view the core infusion approach is particularly strong in this area. Whereas the DIAB grooved and perforated core is an integral part of laminate - increasing flexural strength and stiffness - flow media such as nets and mats add cost to the process, are purely 'sacrificial' and have to be removed and disposed of following infusion.

The final thing that the boat yard has to evaluate is the use of pre-cut foam kits. At Fiart Mare we believe that using pre-cut, shaped and numbered kits can reduce build times and save labor costs by eliminating the on-

site shaping and cutting of flat sheets.

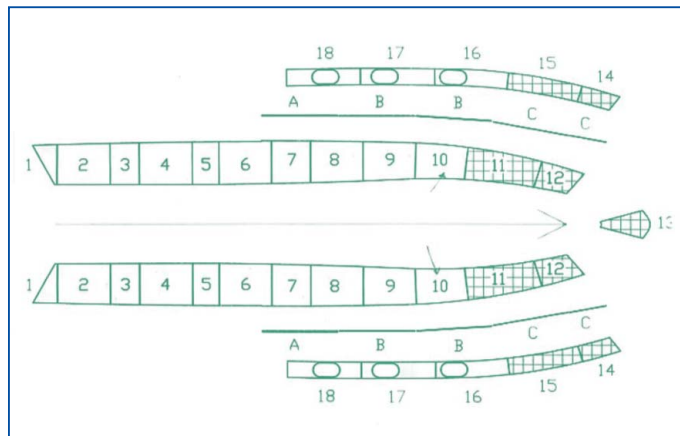
Structural Design Considerations

The structural design of a boat is, in most cases, carried out in accordance with 'design rules' laid down by an appropriate certification authority such as RINA, DNV, ABS and Lloyds Register of Shipping.

Until very recently, when building a GFRP boat, the 'design allowables' only took into consideration whether hand or spray lay-up was used. No consideration was given for structures produced using infusion molding. In this context, we examined the structural dimensioning according to R.I.Na (Italian Naval Register) and with particular reference to section B of the third chapter.

a) The gc parameter represents the glass content of the layer. It is presumed to be equal to 0.34 for CSM

[Fig. 3] - Diagramma schematico di un kit di infusione / A schematic diagram of a core infusion kit



non fossero il wet lay up o lo spray up.

Prendiamo in esame, a tal uopo, il dimensionamento strutturale secondo il Registro Italiano Navale con particolare riferimento alla sez. B del capitolo III.

In esso possiamo subito evidenziare le seguenti procedure che legano univocamente il dimensionamento che da esso deriva allo stampaggio manuale, e cioè:

- a) il parametro Gc rappresenta il contenuto di rinforzo vetroso nello strato; esso è assunto pari a 0,34 per rinforzi in MAT, e 0,5 per rinforzi in stuoia o tessuto;
- b) il parametro Gc rappresenta il contenuto di rinforzo vetroso nello stratificato, compreso fra 0,25 e 0,50;
- c) lo spessore t del singolo strato viene calcolato in funzione della massa areica del rinforzo in vetro di un singolo strato espresso in g/mq e del gc ad esso relativo;
- d) le caratteristiche meccaniche (carichi di rottura e moduli elastici) degli stratificati vengono calcolati in funzione della Gc precedentemente espressa.

Se si esamina con un attimo di attenzione la situazione si può comprendere come tutte queste assunzioni non vadano bene per la tecnologia di infusione.

Grazie allo stampaggio sottovuoto, infatti, si raggiungono coefficienti di impregnazione completamente diversi da quelli suggeriti dall'Ente certificatore.

Alcuni esperimenti effettuati presso il laboratorio di Ricerca e Sviluppo della Fiat, difatti, hanno dimostrato, in concordanza con molteplici schede tecniche di produttori di fibre di vetro [tab. 3].

È evidente, che mentre i coefficienti in [tab. 3] sono pressochè in linea con i valori riscontrati per l'impregnazione manuale delle fibre, i valori per l'infusione sottovuoto sono più alti di circa il 20%.

[Tab. 3] - Coefficienti di impregnazione sperimentali / Coefficients of experimental impregnation

Processo <i>Process</i>	Gc CSM Mat Gc CSM Mat	GC Mat a filam. continui GC Coninuous Filament Mat	Gc Stuoia di vetro Gc Woven Roving	Gc Biassiale Gc Knitted Biaxial
Stesura man. <i>Hand lay-up</i>	0.29	-	0.50	0.55
Infusione <i>Infusion</i>	0.55	0.31	0.60	0.66

Il progettista, pertanto, se non vuole rischiare di sovradimensionare il laminato dovrà in prima istanza tenere conto di questi nuovi rapporti di impregnazione della vetroresina.

In realtà, per qualsiasi materiale composito, l'ottimizzazione del rapporto resina/fibra è di fondamentale importanza: se la quantità di resina è esigua, difatti, si rischia che le fibre non leghino bene; di contro, una quantità eccessiva rappresenta un inutile dispendio economico.

Inoltre, le proprietà meccaniche macroscopiche del laminato sono funzione diretta di questo rapporto. Per spiegare meglio questo concetto, si farà un breve riferimento alla teoria della micromeccanica della lamina, da cui potremo estrapolare il legame funzionale tra le proprietà meccaniche del composito e le percentuali relative dei suoi costituenti.

Per spiegare quanto detto più esaurientemente, si farà un breve riferimento alla teoria

- and 0.5 for woven fibers.
- b) The Gc parameter represents the glass content of the laminate. This is assumed to be between 0.25 and 0.50.
- c) The thickness (t) of the single layer is calculated as a function of the mass

these presumptions are not valid for the infusion technology. In fact, with vacuum infusion molding, the ober fractions are completely different from the ones suggested by the certification register.

Some experiments, carried out in the Fiat Mare Research and Development laboratory and in conjunction with technical information from fiberglass manufacturers show the following results.

It is clear that, while the coefficients for manual impregnation shown in [tab. 3] are similar to those suggested by the certification register, the values for infusion are at least 20% higher.

[Tab. 4] - Proprietà meccaniche dei componenti della lamina / Mechanical properties of composite lamina constituents

	Modulo Young Young modulus (MPa)	UTS (Mpa)
Fibra di vetro <i>Glassfiber</i>	70,000	1,700
Resina poliester <i>Polyester resin</i>	3,500	70

of the fibers of a single layer expressed in grams per square meter and the relative gc.

- d) The mechanical characteristics (strength and elastic modulus) of the laminate are calculated as a function of the Gc.

If we examine the situation we can recognize that all

Therefore if the designer does not want to over engineer the laminate the new figures for infusion impregnation need to be taken into account.

In reality, in every polymer composite material, the optimization of this resin/fiber ratio is very important. Too little resin could result in fiber bonding problems. Too much could be economical wasteful.

Moreover, the micro-mechanical properties of the lamina are influenced directly by this relationship.

To better explain this, we will briefly refer to the Theory of the Lamina Micromechanics, from which can be deduced a functional relationship between the mechanical properties of the composite material and the relative percentages of its constituents.

We will examine the case in which we would like to determine the Elastic Modulus

[Tab. 5] - Proprietà meccaniche a confronto / Theoretical mechanical properties of a lamina

	Contributo della fibra Fiber Contribution (Mpa)	Contributo della resina Resin Contribution (Mpa)	Valore totale Total Value (Mpa)
Modulo Young Applicazione manuale Young modulus Hand lay-up	21,000	2,450	23,450
Modulo Young - Infusione Young modulus - Infusion	35,000	1,750	36,750
UTS applicazione man. UTS hand lay-up	510	49	559
UTS infusione UTS infusion	850	35	885

della Micromeccanica della lamina, da cui è possibile evincere una relazione funzionale fra le proprietà meccaniche del composito e le percentuali relative dei suoi costituenti.

Partendo dalla 'Legge delle miscele' per i materiali compositi:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (2)$$

Si evince che le proprietà meccaniche di un laminato sono strettamente connesse alle frazioni volumetriche della fibra e della matrice, in altre parole, il rapporto fibra/resina è determinante nel calcolo delle proprietà meccaniche.

Esaminiamo il caso di una singola lamina di un laminato tipico utilizzato per la produzione di un'imbarcazione da diporto GRP.

Per semplificare il calcolo si consideri una lamina costituita da fibre di vetro unidi-

rezionali impregnate con resina poliestere.

Le proprietà meccaniche della fibra e della resina sono riportate in [tab. 4].

Partendo da tali dati e considerando un G_c pari a 0,5 (che si traduce in un V_f pari a 0,3) per laminazione manuale, e un G_c pari a 0,65 (che si traduce in un V_f pari a 0,5) per un processo di infusione sottovuoto è possibile calcolare attraverso la legge delle miscele, i seguenti valori.

Se si osservano le cifre riportate in [tab. 5] è chiaro che i processi di infusione sottovuoto, già a livello progettuale, suggeriscono proprietà meccaniche superiori rispetto ai tradizionali processi di laminazione manuale.

La seconda parte di questo articolo, dal titolo: Analisi dei parametri produttivi, controlli di qualità, analisi comparative, sarà pubblicata sul n. 6 Nov/Dic.

and the tensile strength of a composite lamina.

According the 'Mix law' for composite materials, we have:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (2)$$

That is why (1) and (2) demonstrate to us that the mechanical properties of a composite lamina are tightly connected to the volumetric fractions of the fiber and the matrixes, in other words, the fiber/resin ratio that we indicated at the beginning of this chapter.

We would like to propound the statement that we just made with a very simple calculation example.

Let us examine the specific case of a single lamina of a typical laminate used in the production GFRP pleasure boat. To simplify the calculation we use a lamina composed of a unidirectional fiberglass impregnated with polyester resin.

The mechanical properties of the fiber and resin in the following [tab. 4].

Knowing that based on experimental data that is widely documented for a manual laminating carried out like it should with the maximum contents in weight G_c of the required glass reinforcement amounts 0.5 (which translates itself in a V_f equal to 0.3) while with using a vacuum molding process there can be easily obtained a G_c of 0.65 (which translates itself in a V_f of 0.5), we can calculate the (1) and (2) the following values.

Looking at the figures in [tab. 5], it is clear that infusion offers much higher mechanical properties than hand laminating.

The second part of this article: Production parameters analysis, quality controls, comparative analysis; will be published on Via Mare N6 Nov/Dec.



Giuseppe Coccia si è laureato con lode presso l'Università di Napoli Federico II in Ingegneria dei Materiali sotto la guida dei Proff. Luigi Nicolais e L. Ambrosio.

Successivamente, ha svolto presso il Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione della stessa Università, sotto la guida del Prof. I. Crivelli Visconti, un Dottorato di ricerca Internazionale imperniato sulla progettazione e sulle tecnologie dei Materiali Compositi Tradizionali ed Avanzati.

Attualmente, dopo una serie di esperienze effettuate nel settore dello stampaggio dei Plastici Rinforzati, riveste l'incarico di Responsabile della Divisione Compositi e dell'Assistenza Tecnica presso la Fiat Mare SpA.