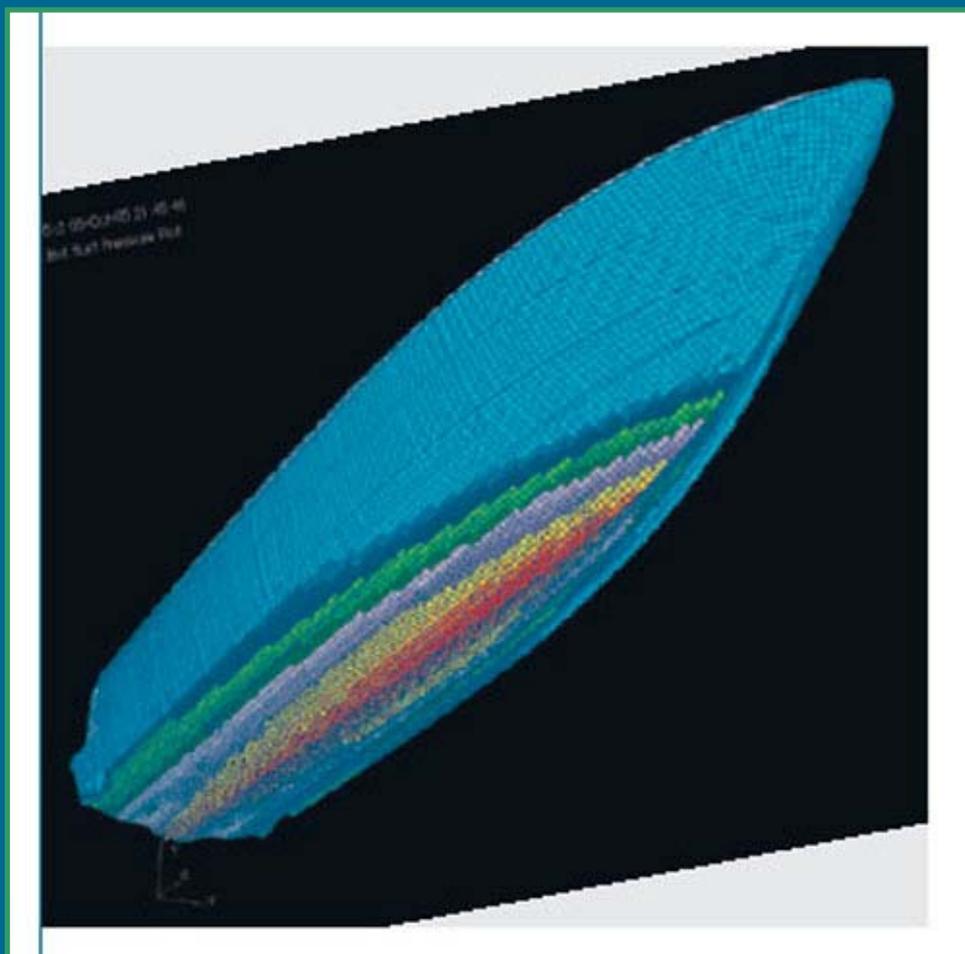


LA TECNICA DELL'INFUSIONE NELLA REALIZZAZIONE DI COMPOSITI PER LA NAUTICA

LINEE GUIDA



RINA



1 - PREMESSA.....	4
2 – DEFINIZIONI	5
3 – LA TECNICA DI INFUSIONE.....	7
3.1 – GENERALITA’	9
3.2 – DESCRIZIONE DEL METODO.....	12
3.2.1 – Preparazione dello stampo.....	12
3.2.2 – Inserimento delle “portate”	12
3.2.3 – Stesura del distaccante, del gel coat e dello skin coat	13
3.2.4 – Stesura della prima pelle.....	14
3.2.5 – Stesura dell’anima.....	15
3.2.6 – Stesura della seconda pelle	16
3.2.7 – Realizzazione delle strutture	16
3.2.8 – Stesura dei materiali necessari all’infusione.....	17
3.2.9 – Realizzazione del “vuoto” e infusione della resina.....	20
3.2.10 – Pannello per eseguire test sui laminati.....	25
3.3 – CARATTERISTICHE DEI LAMINATI	28
4 – ANALISI DELLE FASI.....	32
4.1 – PREPARAZIONE DELLO STAMPO	33
4.2 – INSERIMENTO DELLE “PORTATE”	37
4.3 – STESURA DEL DISTACCANTE, DEL GEL COAT E DELLO SKIN COAT	40
4.4 – STESURA DELLA PRIMA PELLE	41
4.5 – STESURA DELL’ANIMA.....	44
4.6 – STESURA DELLA SECONDA PELLE.....	53



4.7 – REALIZZAZIONE DELLE STRUTTURE.....	55
4.8 – STESURA DEI MATERIALI NECESSARI ALL’INFUSIONE.....	57
4.9 – REALIZZAZIONE DEL “VUOTO” E INFUSIONE DELLA RESINA	65
4.10 – PANNELLO PER ESEGUIRE PROVE SUI LAMINATI.....	72
5 – I DIVERSI METODI DI INFUSIONE.....	74
5.1 – INFUSIONE CON L’USO DI RETE A MAGLIE LARGHE	75
5.2 - INFUSIONE CON L’UTILIZZO DI ANIME SAGOMATE	77
5.3 – INFUSIONE CON STAMPO E CONTROSTAMPO	79
6 - AVVERTENZE.....	81
6.1 – TUTELA DELLA SALUTE DEGLI OPERATORI.....	82
6.2 – PRECAUZIONI PER LA TUTELA DELL’AMBIENTE	83



1 - PREMESSA

Questo documento intende descrivere la tecnica dell'infusione per la realizzazione di compositi nelle sue fasi principali elencando le caratteristiche della metodologia e gli accorgimenti da adottare.

Esistono tuttavia diversi metodi di infusione, alcuni dei quali soggetti a brevetto, per i quali viene fornito un apposito manuale che deve essere comunque osservato in tutte le sue parti e rispetto al quale il presente documento rappresenta solo un'integrazione.

L'infusione rappresenta una tecnica recente nella produzione di compositi che lungi dall'essere giunta ad un punto di arrivo è in continua evoluzione.

Per poter far uso di tale tecnica è quindi necessario apprendere il necessario know-how attraverso documenti come il presente, manuali specifici e soprattutto attraverso l'esperienza diretta che consente di affrontare la realizzazione di manufatti sempre più complessi.



2 – DEFINIZIONI

Di seguito sono riportate le definizioni di alcuni termini che verranno usati nel presente documento.

- **Resina:** termine usato in generale per indicare qualsiasi tipo di resina termoindurente adatta alla realizzazione di compositi per la nautica.
Solitamente tali resine si dividono in tre famiglie: resine poliesteri, resine vinilesteri e resine epossidiche.
- **Rinforzo:** fibre di vetro, aramide o carbonio sotto forma di stuoie, multiassiali o unidirezionali, che vengono impregnate con resina per ottenere dei compositi.
- **Composito:** insieme di resina e rinforzo uniti efficacemente con apposito processo di laminazione e di catalizzazione della resina
- **Vetroresina:** particolare tipo di composito realizzato solo con rinforzi di fibra di vetro
- **Laminato pieno (single skin):** successione di strati di rinforzo, debitamente impregnati con resina, senza l’inserimento di anime.
- **Sandwich:** laminazione che prevede due pelli intervallate da un’anima costituita da materiale a bassa densità efficacemente unita alle pelli.
- **Laminazione manuale:** laminazione che prevede una impregnazione dei rinforzi manualmente e quindi il loro posizionamento sullo stampo
- **Infusione:** laminazione che prevede il posizionamento dei rinforzi sullo stampo a secco e quindi un successivo apporto di resina richiamata da una differenza di pressione (“vuoto”¹)
- **Depressione o “vuoto”:** differenza di pressione che si crea fra lo stampo e l’ambiente circostante per effetto dell’azione della stazione del vuoto e del sacco del vuoto.

¹ Il termine “vuoto”, comunemente adottato nella pratica di cantiere, è sempre usato fra virgolette in questo documento in quanto in realtà si tratta di una differenza di pressione o depressione.



- **Sacco del vuoto:** pellicola di materiale plastico termoresistente efficacemente collegata allo stampo per creare un volume stagno che è possibile mettere in depressione.
- **Peel ply:** pellicola di materiale plastico monouso e termoresistente usata per separare l'ultimo strato di composito dai materiali successivi.
- **Microforato:** pellicola di materiale plastico con piccoli fori uniformemente distribuiti posta fra il peel ply e l'aeratore. Il suo scopo è quello di permettere il passaggio dell'aria dagli strati inferiori a quelli superiori.
- **Aeratore:** materiale sintetico soffice che ha lo scopo di evitare lo schiacciamento del sacco del vuoto sugli strati sottostanti.
- **Tacky tape:** nastro sigillante biadesivo costituito da materiale malleabile. E' utilizzato per collegare efficacemente il sacco del vuoto allo stampo lungo il suo perimetro.
- **Stazione del vuoto:** stazione costituita da una o più pompe di aspirazione dell'aria collegate alle linee di aspirazione.
- **Linee di aspirazione:** tubi distesi lungo il perimetro dello stampo e collegati alla stazione del vuoto.
- **Linee di infusione:** tubi che collegano i serbatoi di stoccaggio della resina al manufatto permettendo l'impregnazione dei rinforzi.



3 – LA TECNICA DI INFUSIONE

L'uso dei compositi nella nautica ha apportato un deciso cambiamento nel numero di imbarcazioni prodotte e nelle loro caratteristiche.

La ricerca di prestazioni sempre migliori ha favorito l'uso di resine più evolute e di rinforzi costituiti da fibre di carbonio e di aramide.

Anche l'uso del sandwich si è affermato in maniera decisa sperimentando anime costituite da materiali innovativi.

Come si vedrà in seguito, in questa logica evolutiva lo sguardo si è rivolto anche a migliorare le tecniche di laminazione affiancando alla **laminazione manuale**, la **laminazione per infusione** ed i **preimpregnati**.

La tecnica di laminazione manuale è storicamente quella con cui si è iniziato a produrre vetroresina ed è ancora molto usata nella cantieristica.

Le altre due tecniche sono invece successive e ne rappresentano una evoluzione volta a migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche del prodotto finale.

I preimpregnati sono tessuti di vetro, carbonio o aramide che contengono già al loro interno la resina necessaria alla fase di indurimento e che quindi non necessitano di laminazione manuale in cantiere.

Questi tessuti devono essere semplicemente stesi sullo stampo e tagliati, successivamente saranno poi messi sotto “vuoto” e riscaldati per far iniziare la reazione di catalizzazione della resina.

La caratteristica dei tessuti preimpregnati è infatti quella di dover essere stoccati a temperature basse prima di essere impiegati e poi di dover essere riscaldati ad elevate temperature per dar modo alla resina di catalizzare.

La tecnica di laminazione per infusione invece, che sarà ampiamente analizzata nei capitoli seguenti, consiste nello stendere i tessuti di vetro, carbonio o aramide sullo stampo a secco e poi di far affluire la resina grazie ad una differenza di pressione creata artificialmente.



La stesura di tessuti senza resina agevola considerevolmente questa operazione, la rende più salubre e la svincola da una tempistica rigida.

Una volta che tutti i rinforzi, e le anime, sono stati correttamente posizionati si crea la depressione necessaria a richiamare la resina dall'esterno attraverso il sacco del vuoto ed altri materiali complementari.

E' proprio questa la caratteristica che distingue il metodo dell'**infusione**, quella di lavorare i tessuti di rinforzo e le anime a secco per poi far affluire, infondere appunto, la resina in un tempo successivo, anche molto dopo il completamento della prima fase.

Importanti anche i risultati che si sono ottenuti dal punto di vista della sicurezza degli operatori e delle emissioni nell'ambiente.



3.1 – GENERALITA'

L'infusione è una tecnica avanzata per la realizzazione di manufatti in composito che si differenzia nelle fasi costruttive e nelle caratteristiche dei prodotti ottenuti dalle altre tecniche attualmente in uso.

I compositi in generale sono realizzati da due elementi principali:

La **resina termoindurente**, elemento legante che ingloba le fibre.

Esistono sul mercato molti tipi di resine termoindurenti destinate alla nautica, le tre famiglie principali sono la resina poliestere, vinilestere ed epossidica.

Queste resine si dicono termoindurenti in quanto inizialmente si trovano allo stato liquido ma, in seguito all'aggiunta del catalizzatore, iniziano il procedimento di indurimento che le porta allo stato solido attraverso una reazione esotermica cioè con produzione di calore.

I **Rinforzi** costituiti da materiali resistenti inerti inglobati nella resina per aumentarne resistenza e rigidità.

I rinforzi più usati per i compositi destinati alla nautica sono le fibre di vetro, le fibre aramidiche e le fibre di carbonio.

La realizzazione di manufatti per la nautica in vetroresina, o più in generale in composito, è storicamente nata con la laminazione manuale (wet layup) che consiste nell'impregnare le fibre manualmente per poi stenderle sullo stampo.

Questa tecnica è ancora oggi molto usata nella cantieristica nautica sia per la realizzazione di manufatti in laminato pieno (single skin) sia per la realizzazione di manufatti in sandwich, cioè composti da due pelli di rinforzi con al centro un'anima di materiale leggero.

Si sono però andati perfezionando nel tempo dei metodi alternativi per la realizzazione di compositi che prevedono una diversa metodologia di realizzazione e quindi di unione dei due diversi elementi sopra citati, la resina ed i rinforzi.

Oltre alla laminazione manuale (wet layup) sono oggi presenti altre due famiglie di compositi, i **compositi preimpregnati** e i compositi realizzati per **infusione**.

I **preimpregnati** non sono oggetto di questo documento, si può comunque dire che per questo tipo di compositi la resina non viene aggiunta manualmente alle fibre durante il processo di laminazione.

Nei preimpregnati la resina è già presente insieme alle fibre al momento della laminazione in quanto è stata aggiunta preventivamente in fabbrica.

L'operatore deve stendere i compositi preimpregnati e tagliarli opportunamente senza preoccuparsi di aggiungere la resina.

Come già ricordato in precedenza però, i preimpregnati devono essere stoccati a temperature molto basse prima del loro utilizzo e hanno tempi precisi entro i quali devono essere stesi una volta portati a temperatura ambiente.

Inoltre, completata la fase di stesura di tutti gli strati, il manufatto deve essere portato a temperature elevate per consentire alla resina di catalizzare correttamente.

Con questa tecnica si ottengono manufatti di buona qualità con un alto contenuto di rinforzo e quindi con buone caratteristiche fisico-meccaniche.

I compositi realizzati per **infusione** sono invece l'argomento che si andrà sviluppando in questo documento e su cui vertono i capitoli successivi.

In generale l'infusione è una tecnica per la realizzazione di compositi che prevede la stesura delle fibre di rinforzo sullo stampo a secco, cioè senza resina, e successivamente l'apporto di resina allo stampo per depressione.

Si crea cioè all'interno dello stampo un'area a minor pressione, rispetto a quella atmosferica circostante, in grado di attrarre la resina per la quale sono state predisposte dei canali di afflusso che vanno dai serbatoi di stoccaggio della resina allo stampo.

Questa depressione, comunemente chiamata "vuoto", si ottiene mediante la copertura dello stampo con una pellicola di materiale plastico, comunemente chiamata "sacco del vuoto", efficacemente collegata allo stampo per evitare infiltrazioni d'aria.

Dalla zona fra il sacco del vuoto e lo stampo viene aspirata aria mediante una pompa elettromeccanica e dei condotti di aspirazione, si otterrà che il sacco del vuoto aderisce

con forza allo stampo schiacciando le fibre e creando la depressione necessaria a far affluire la resina.

Una volta che la resina inizia a defluire nello stampo deve riuscire a percorrere tutta la superficie dello stampo, impregnando cioè tutte le fibre, in un tempo inferiore al tempo di catalizzazione.

La resina infatti deve rimanere nello stato liquido durante tutto il processo di infusione per permettere la completa impregnazione di tutte le zone, solo a questo punto può iniziare il processo di catalizzazione della resina che quindi passa allo stato solido con reazione esotermica.

In generale la resina passa dai serbatoi di stoccaggio allo stampo attraverso dei tubi opportunamente dimensionati e posizionati.

Una volta all'interno dello stampo però, la resina deve poter scorrere agevolmente e quindi bisogna prevedere delle modalità di diffusione della resina che variano a seconda della tipologia di infusione adottata.

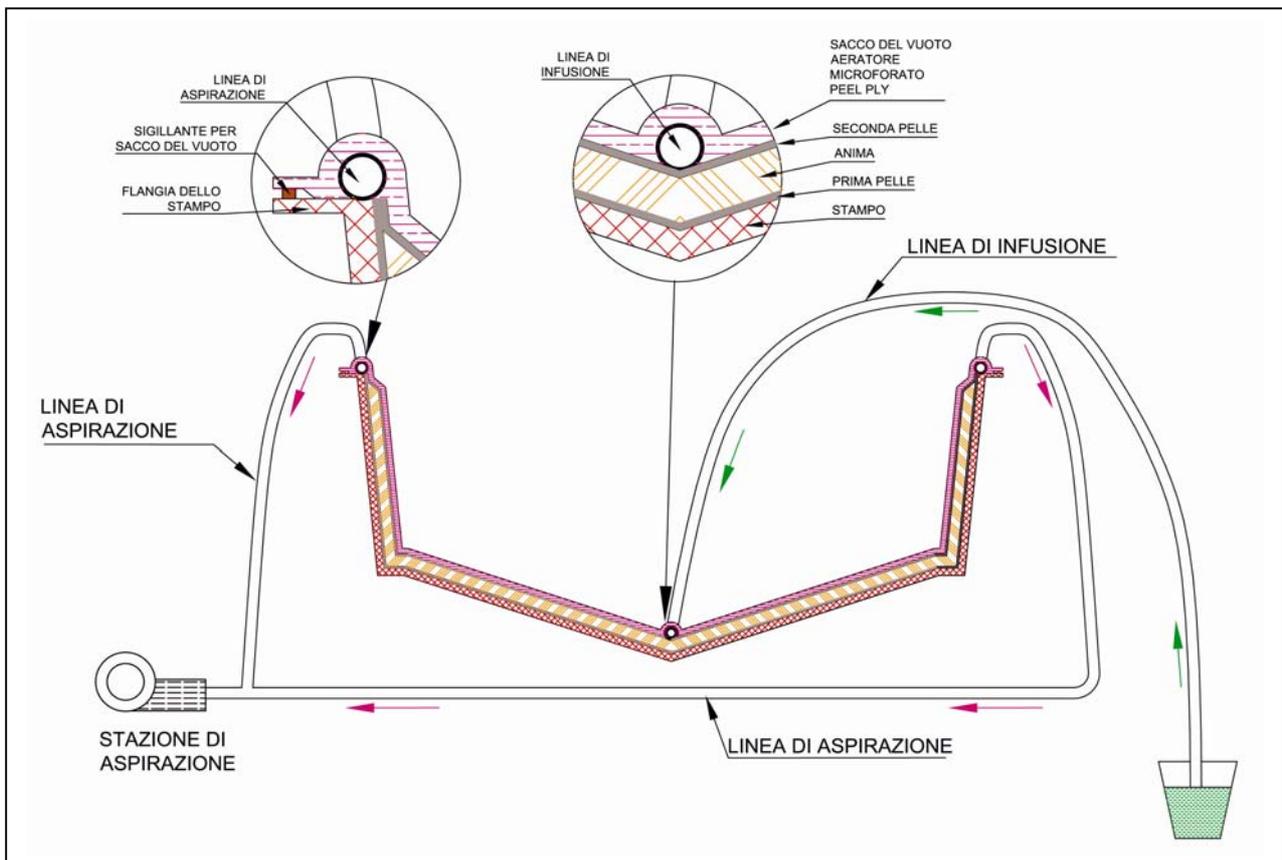


FIGURA 1 – SCHEMA DEL PROCESSO DI INFUSIONE



3.2 – DESCRIZIONE DEL METODO

Come per gli altri metodi di laminazione la realizzazione di manufatti con la tecnica dell'infusione prevede l'uso di stampi su cui stendere i tessuti che però in questo caso sono secchi, cioè non bagnati con la resina.

3.2.1 – Preparazione dello stampo

Il processo inizia con la preparazione dello stampo, che viene assemblato, se è costituito da più parti, e ricoperto con un prodotto distaccante per facilitare il distacco del manufatto finito quando la laminazione sarà terminata.

E' importante osservare da subito che uno stampo adatto al processo di infusione ha delle caratteristiche particolari, descritte in maniera specifica nel paragrafo 4.1, quali:

- L'elevata robustezza per resistere alla depressione necessaria al deflusso della resina.
- Una flangia perimetrale dove fissare il sacco del vuoto.
- L'assenza di vie d'aria, soprattutto nel caso di stampo costituito da più parti, che renderebbe vano il tentativo di metterlo in depressione.

3.2.2 – Inserimento delle “portate”

Dopo la preparazione dello stampo si possono inserire delle “portate” cioè degli elementi fissati allo stampo che ne modificano la geometria.

Questa prassi è comune nella realizzazione di manufatti per la nautica in quanto la modifica degli stampi è molto onerosa e si preferisce quindi ricorrere a metodi più semplici e non permanenti.

Anche per le portate, come si vedrà nel paragrafo 4.2, bisogna adottare alcune precauzioni:

- Le portate non devono impedire il flusso della resina e quindi bisogna attentamente dimensionarle, soprattutto in altezza.

- Devono essere efficacemente collegate allo stampo per evitare che si stacchino per effetto della pressione generata dal sacco del vuoto.
- Devono essere adeguatamente strutturate per evitare che implodano per effetto della depressione o che le superfici si imbarchino.
- Devono essere piene o perfettamente stagne per evitare che la resina si possa introdurre all'interno.
- Devono essere perfettamente aderenti allo stampo evitando di lasciare spazi vuoti che sarebbero colmati dalla resina creando degli accumuli.

3.2.3 – Stesura del distaccante, del gel coat e dello skin coat

Il distaccante è un prodotto che solitamente si utilizza per evitare di danneggiare lo stampo durante l'operazione di formatura a causa degli attriti.

Si stende quindi uno strato omogeneo di distaccante su tutto lo stampo assicurandosi di utilizzare prodotti compatibili con le resine che si andranno ad infondere.

A questo punto si può passare alla stesura del gel coat, se siamo in presenza di uno stampo femmina e se il manufatto lo richiede.

Il gel coat si stende abitualmente con rulli sullo stampo e permette di ottenere una buona finitura superficiale del manufatto in composito una volta tolto dallo stampo.

Questa operazione non presenta particolarità nel caso dell'infusione è del tutto simile a quella che si compie nel caso di laminazione manuale,

E' comunque opportuno verificare la perfetta compatibilità del gelcoat con la resina che verrà utilizzata per l'infusione.

Dopo la stesura del gel coat si procede alla stesura dello skin coat, cioè di uno strato di tessuti laminati manualmente i quali hanno lo scopo di esaltare la finitura finale del manufatto.

Lo skin coat, come si vedrà nel paragrafo 4.3, si utilizza solitamente nella laminazione di scafi o di coperte di imbarcazioni mentre viene trascurato quando i manufatti sono di dimensioni ridotte oppure non hanno bisogno di una finitura superficiale elevata.

3.2.4 – Stesura della prima pelle

A questo punto si può passare alla stesura dei tessuti previsti dalla laminazione, vedi anche il paragrafo 4.4.

Come già ricordato in precedenza i tessuti utilizzabili nell'infusione sono in generale quelli di fibra di vetro, di fibre aramidiche, di fibre di carbonio e i tessuti costituiti combinando questi tre tipi.

Caratteristica peculiare del metodo di infusione è la stesura dei tessuti a secco, cioè in assenza della resina che verrà aggiunta alla fine del processo.

La stesura dei tessuti è quindi particolarmente semplice in quanto il loro peso è ridotto, si possono maneggiare facilmente, tagliare e posizionare ed eventualmente rimuovere con facilità.

E' quindi possibile utilizzare tessuti con un peso a metro quadro maggiore rispetto al caso della laminazione manuale e diminuire conseguentemente il numero di strati da stendere.

Nel caso di manufatti con geometrie complesse o con zone ad elevata pendenza, va prestata estrema attenzione al fissaggio dei tessuti che una volta stesi devono essere efficacemente mantenuti in posizione per evitare che si spostino o si pieghino su se stessi.

Esistono diversi metodi per tenere in posizione i tessuti stesi a secco, il più comune è l'uso di colla spray costituita da elementi compatibili con la resina utilizzata.

In alternativa si possono utilizzare degli spilli particolarmente lunghi e sottili realizzati appositamente per questo scopo.

La stesura dei tessuti, nel metodo dell'infusione, è una fase che può essere prolungata nel tempo in quanto non è condizionata dai tempi di catalizzazione della resina, bisogna però assicurarsi che questa fase sia svolta in un ambiente idoneo e cioè privo di polveri o altri elementi in sospensione nell'aria che andrebbero inevitabilmente a depositarsi sui tessuti per poi essere inglobati nel laminato alterandone le caratteristiche fisiche e meccaniche.

La tecnica dell'infusione in generale è utilizzabile sia per la produzione di laminati pieni (single skin) sia per la produzione di laminati sandwich, cioè costituiti da due pelli di fibre con interposta un'anima di materiale leggero.

Va comunque ricordato che in virtù del particolare metodo costruttivo rappresentato dall'infusione lo spessore dei laminati viene notevolmente ridotto rispetto alla laminazione manuale, è bene quindi limitare l'uso del laminato pieno a zone circoscritte per evitare fenomeni di instabilità.

3.2.5 – Stesura dell'anima

Dopo aver completato la stesura della prima pelle si può passare al posizionamento dell'anima nel caso di costruzione in sandwich.

I pannelli che costituiscono l'anima sono formati da materiale leggero, ad esempio PVC, ed in generale servono a distanziare la pelle interna da quella esterna aumentando il modulo di resistenza del laminato.

Le anime che si possono utilizzare con il metodo dell'infusione hanno delle particolarità che saranno meglio descritte nel paragrafo 4.5, e che qui vengono brevemente elencate:

- L'anima deve permettere il deflusso della resina lungo le due facce².
- L'anima deve permettere il passaggio della resina da una faccia all'altra³.
- Nel caso di stampi particolarmente concavi o convessi occorre assicurarsi che le anime aderiscano perfettamente al laminato, eventualmente preformandole.
- I diversi pannelli che costituiscono l'anima devono essere accuratamente sagomati evitando di lasciare spazi vuoti lungo i bordi che darebbero luogo ad accumuli di resina.
- Il materiale costituente l'anima deve essere compatibile con la resina usata per scongiurare reazioni chimiche che potrebbero danneggiarla.

² Alcuni metodi di infusione prevedono delle anime con dei canali di scorrimento della resina costituiti da incisioni sulle facce.

³ In generale il passaggio di resina da una faccia all'altra dell'anima è assicurato da fori opportunamente distanziati e dimensionati.

A differenza di altri metodi, nell'infusione l'anima non viene incollata alle pelli ma viene semplicemente appoggiata alla prima pelle e successivamente coperta dalla seconda pelle.

Durante l'infusione la resina attraversa l'anima per impregnare entrambe le pelli.

A processo ultimato, l'adesione fra anima e pelli è assicurata dai "chiodi di resina" che si vengono a formare per effetto del riempimento dei fori presenti nell'anima.

Eventuali inserti di materiali diversi dall'anima (ad esempio legno) possono essere effettuati a patto che siano di dimensioni ridotte per non presentare un punto di impedimento allo scorrimento della resina.

3.2.6 – Stesura della seconda pelle

La stesura della seconda pelle è una operazione del tutto simile a quella relativa alla pelle esterna precedentemente descritta.

Bisogna quindi prestare attenzione a posizionare correttamente i tessuti e a tenerli in posizione.

Va inoltre evitato il deposito di sostanze in sospensione nell'aria operando quindi in luoghi puliti e muniti degli idonei impianti di aerazione.

Nel caso di manufatti aventi grandi dimensioni, durante la stesura dei tessuti e dell'anima è importante non calpestare il materiale appena steso in quanto si potrebbero causare dei movimenti anche non immediatamente visibili.

3.2.7 – Realizzazione delle strutture

Alcuni metodi permettono la realizzazione di strutture nella stessa sessione di infusione dello scafo o della coperta.

Queste strutture, come sarà meglio descritto nel paragrafo 4.7, devono essere compatibili con il flusso della resina e non costituire un ostacolo al suo percorso.

In generale le strutture sono costituite da un'anima in materiale leggero, solitamente poliuretano, e da alcuni strati di fibre di rinforzo.

Le strutture per poter essere realizzate in infusione devono:

- Avere dimensioni modeste per non impedire il flusso della resina.
- Essere posizionate prevalentemente secondo la direzione di flusso della resina.
- Avere un'altezza contenuta per evitare di essere deformate dalla pressione del sacco del vuoto
- Essere costituite da materiali compatibili con la resina di infusione.

Va ricordato che l'anima delle strutture differisce da quella del laminato in quanto non presenta canali di scorrimento o fori, la resina quindi scorre solo superficialmente nei tessuti che la ricoprono.

3.2.8 – Stesura dei materiali necessari all'infusione

Dopo aver completato la stesura di tutti i materiali previsti dal piano di laminazione inizia la fase di posizionamento dei materiali relativi al processo di infusione, si veda anche il paragrafo 4.8.

Come già accennato esistono diverse metodologie che differiscono per alcuni aspetti tecnici pur rimanendo comune il principio di funzionamento.

In generale occorre posizionare in tutti i casi alcuni canali di aspirazione collegati ad una o più pompe del vuoto.

Questi canali di aspirazione solitamente percorrono il perimetro esterno dello stampo e poi arrivano alle pompe del vuoto, nel caso di manufatti con dimensioni modeste è anche possibile posizionare un solo canale di aspirazione su un lato, quello opposto al lato di immissione della resina, in modo da creare un preciso percorso per la resina.

Nell'infusione i tessuti e l'anima vengono impregnati dalla resina per effetto della depressione che si viene a creare fra lo stampo e il sacco del vuoto.

La resina quindi viene richiamata da questa depressione e, attraverso apposite tubazioni, passa dai contenitori allo stampo e poi scorre lungo tutta la superficie del manufatto.

Perché questo avvenga bisogna prevedere delle vie di diffusione della resina nel manufatto, i differenti metodi di infusione prevedono appunto approcci diversi per la risoluzione di questo aspetto.

Alcuni metodi prevedono che la resina scorra in canali costituiti da intagli ricavati sulla superficie dell'anima.

Questi canali si estendono sia in direzione trasversale che longitudinale creando un reticolo ortogonale, nel punto di incontro fra i canali sono presenti delle forature che permettono il passaggio della resina da una faccia all'altra.

La sezione dei canali e la loro spaziatura varia in funzione dell'altezza dell'anima e del tipo di manufatto da realizzare.

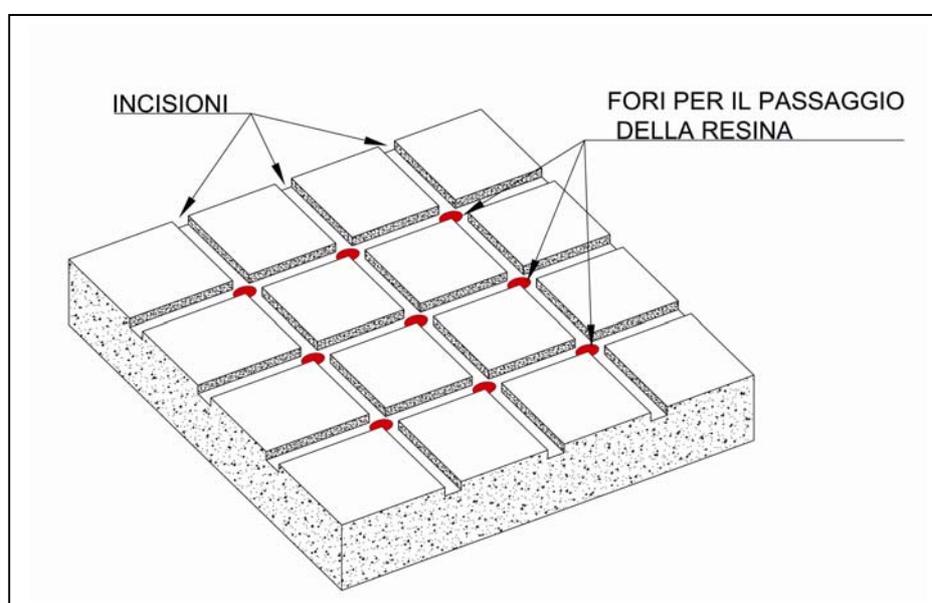


FIGURA 2 – INFUSIONE CON ANIME SAGOMATE

Altri metodi di infusione prevedono lo scorrimento della resina in canali non ricavati nell'anima ma previsti al di sopra della pelle esterna.

Quindi le anime presentano solo delle forature mentre le due facce si presentano lisce.

In questi casi la resina scorre lungo canali distanziati a seconda della complessità della superficie e si diffonde poi grazie ad una rete a maglie larghe che viene stesa su tutto il manufatto al di sopra della seconda pelle.

3.2 – DESCRIZIONE DEL METODO

I canali di distribuzione in generale sono costituiti da fili metallici avvolti a spirale comunemente chiamati “molle” che al contempo consentono il deflusso della resina ed impediscono lo schiacciamento del canale e quindi l’interruzione del flusso di resina.

La rete a maglie larghe, analogamente, permette di mantenere uno spazio minimo fra il laminato ed il peel ply nel quale il flusso di resina riesce a muoversi.

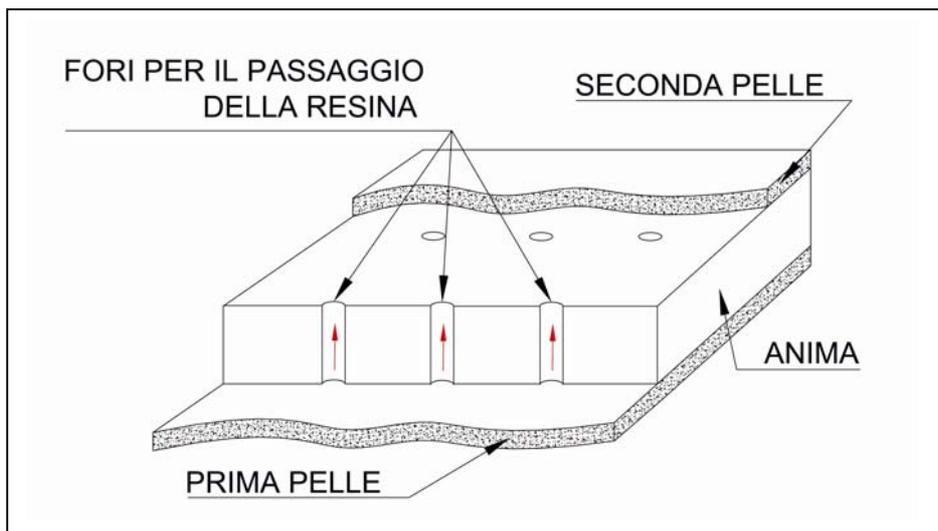


FIGURA 3 – ANIMA CON FORI PER IL PASSAGGIO DELLA RESINA

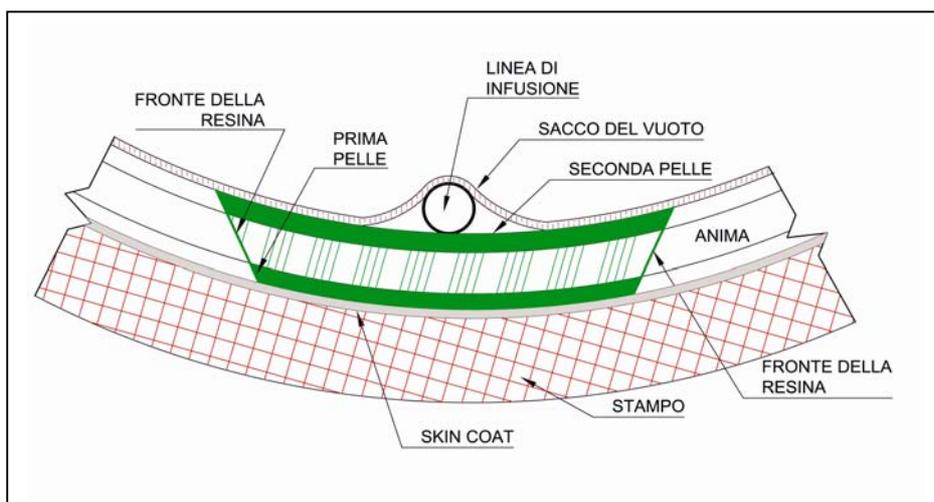


FIGURA 4 – INFUSIONE CON USO DI RETE E CANALI ESTERNI

In entrambi i metodi giunti a questo punto sono necessari il peel ply, il microforato, l'aeratore ed il sacco del vuoto.

Il **peel ply** è una pellicola di materiale plastico che crea una barriera fra il laminato e gli strati sovrastanti impedendo alla resina di coinvolgerli.

Il **microforato** è uno strato di materiale plastico molto sottile uniformemente forato in grado di far passare l'aria dagli strati inferiori a quelli superiori.

L'**aeratore** è uno strato di materiale sintetico che è in grado di evitare lo schiacciamento del sacco del vuoto sul peel ply che potrebbe dare luogo a sbalzi di pressione locali.

Questo aspetto risulta fondamentale per permettere una depressione omogenea su tutta la superficie del laminato scongiurando il pericolo di fenomeni localizzati in cui il sacco del vuoto aderisce al peel ply impedendo la circolazione dell'aria, alterando la depressione ed impedendo quindi l'impregnazione dei tessuti.

3.2.9 – Realizzazione del “vuoto” e infusione della resina

Ora è necessario approntare il sacco del vuoto che viene fissato efficacemente allo stampo lungo tutto il suo perimetro per mezzo di una flangia che deve essere sempre presente in stampi utilizzati per l'infusione.

La superficie di contatto fra stampo e sacco del vuoto, cioè la flangia, deve essere in ottime condizioni e perfettamente pulita, in questa zona infatti il sacco del vuoto deve aderire perfettamente allo stampo evitando il passaggio di aria dall'esterno.

Il sacco del vuoto viene efficacemente fissato alla flangia dello stampo, che corre lungo tutto il suo perimetro, per mezzo di un nastro biadesivo ad alto spessore comunemente chiamato “tacky tape”.

Questo nastro è adesivo da entrambi i lati e, prima di essere posizionato, è protetto da due pellicole che vanno rimosse all'atto della messa in opera.

Un lato del nastro aderisce allo stampo e l'altro al sacco del vuoto, l'alto spessore del nastro tacky tape e la sua lavorabilità consentono la realizzazione di una barriera contro l'ingresso di aria dall'esterno.

E' importante notare che dal corretto posizionamento del tacky tape dipende la creazione della depressione necessaria alla buona riuscita del processo di infusione.

Il sacco del vuoto inoltre va steso con estrema cura evitando di calpestarlo o danneggiarlo durante il posizionamento, è assai facile procurare dei minuscoli fori difficilmente visibili ma capaci di rendere vano il tentativo di creare la giusta depressione.

E' importante anche usare un sacco del vuoto costituito da un unico pezzo evitando di assemblare più parti.

Esistono in commercio sacchi del vuoto di grandi dimensioni adatti alla maggior parte dei manufatti, nei rari casi in cui le dimensioni della zona da infondere richiedano due teli è bene procedere alla giunzione con estrema cura utilizzando tacky tape.

La stesura del sacco del vuoto deve ovviamente inglobare i canali di aspirazione collegati alle pompe del vuoto, va inoltre considerato che una volta creata la depressione il sacco aderirà con forza allo stampo.

E' quindi necessario prevedere un telo sufficientemente grande per permetterne la completa adesione senza creare tensioni che potrebbero lacerarlo vanificando il processo.

Va però ricordato che anche eccedere in senso opposto, cioè utilizzare un sacco del vuoto molto grande, potrebbe creare degli accumuli localizzati di resina assai pericolosi.

In generale la superficie del sacco del vuoto deve essere di poco superiore alla superficie sviluppata dello stampo.

Quando anche l'operazione di posizionamento del sacco del vuoto è terminata si può accendere la pompa del vuoto collegata ai canali di aspirazione.

Questa operazione va compiuta con i rubinetti di arresto del flusso di resina chiusi per evitare che l'infusione inizi prematuramente.

Quando la pompa del vuoto è in funzione l'aria presente fra il sacco del vuoto e lo stampo defluisce verso l'esterno ed il sacco si schiaccia sullo stampo.

Il tempo per creare la giusta depressione varia in funzione delle dimensioni del manufatto e della potenza della pompa, per infusioni di grandi dimensioni sono alle volte necessarie più pompe che forniscono anche un elemento di sicurezza nel caso una di esse andasse in avaria durante il processo.

E' bene utilizzare solo pompe del vuoto espressamente costruite per questo scopo, facilmente reperibili sul mercato.

Il livello di depressione che si ottiene deve essere monitorato attraverso dei manometri, comunemente chiamati "vacuometri", che devono essere piazzati in diversi punti, lontano dai canali di aspirazione.

I manometri sono costituiti da un indicatore a lancetta che si muove su una scala graduata e da una ventosa che deve essere fissata efficacemente al sacco del vuoto dopo aver realizzato un forellino.

Si osserverà aumentare il livello della depressione indicato dai manometri e poi stabilizzarsi su un valore che dipende essenzialmente dalla potenza della pompa e della efficacia del sistema.

Non è possibile indicare un valore della pressione da raggiungere valido per tutti i casi ma possiamo riferirci ad un valore minimo di 0,4 bar e ottimale di 0,55 bar che è auspicabile ottenere.

Una volta raggiunto il valore di depressione massimo è necessario mantenerlo per un tempo sufficientemente lungo per assicurarsi che il sistema sia stabile, si consiglia dai 15 ai 30 minuti, durante i quali non ci devono essere significativi sbalzi di pressione.

Questa operazione si può compiere attraverso degli "annusatori" o "sniffer" che sono dei microfoni in grado di percepire il sibilo che l'aria produce quando passa attraverso un foro di ridotte dimensioni, oppure cospargendo le zone sospette con schiuma che produce delle bolle se incontra un flusso d'aria.

E' importante non iniziare l'infusione finché non si è assolutamente certi dell'efficacia della depressione ottenuta in quanto il processo di infusione non è reversibile.

Esistono anche sistemi di infusione che prevedono in alternativa al sacco del vuoto un sorta di controstampo che viene accoppiato allo stampo per generare la depressione necessaria.

Questa variante è solitamente utilizzata per realizzare manufatti di dimensioni contenute che devono essere prodotti in un numero elevato di pezzi.

Il controstampo nella maggior parte dei casi è costituito da una membrana semirigida e riutilizzabile che si accoppia allo stampo lungo la flangia già citata.

Il vantaggio di questo metodo è una finitura del laminato buona da entrambi i lati e una riduzione dei tempi dovuta all'eliminazione delle operazioni legate al confezionamento del sacco del vuoto.

La fase successiva è quella dell'infusione della resina, una volta certi che le operazioni precedenti hanno avuto buon esito è possibile aprire i rubinetti di arresto lungo le linee di infusione e consentire alla resina di passare dai serbatoi di stoccaggio allo stampo.

Prima di essere infusa la resina deve essere ovviamente catalizzata per consentire di avviare il processo di indurimento.

Il tempo di catalizzazione della resina dipende essenzialmente dalla temperatura a cui si trova e dal tipo di resina e di catalizzatore.

Questo intervallo di tempo, dal momento in cui la resina viene unita al catalizzatore, al momento in cui passa allo stato solido è chiamato anche tempo di "gelificazione" e deve essere attentamente preventivato.

Bisogna infatti considerare che il flusso di resina impiega un lasso di tempo per diffondersi su tutta la superficie da impregnare dipendente dalle dimensioni e dalla forma del manufatto, dal metodo usato, dalla depressione raggiunta, dalle caratteristiche fisiche della resina e dalla temperatura dell'aria.

E' necessario essere a conoscenza di tutti questi fattori prima di poter procedere all'infusione.

Il tempo di gelificazione deve quindi essere superiore al tempo necessario per infondere tutto il manufatto prevedendo anche un opportuno fattore di sicurezza.

Nel caso il processo di solidificazione della resina iniziasse prima di aver raggiunto ogni zona si andrebbe incontro ad un fallimento dell'infusione con conseguente perdita di tutto il materiale impiegato.

Per ottenere un tempo di gelificazione corretto spesso si ricorre ad additivi che aumentano o diminuiscono detto tempo (acceleranti o ritardanti).

Va anche ricordato che bisogna prevedere un quantitativo sufficiente di resina stoccato nei serbatoi per scongiurare che questa finisca a processo non ancora ultimato.

I serbatoi che contengono la resina da infondere devono essere posizionati vicino allo stampo accorciando il più possibile i percorsi.

E' anche necessario bloccare efficacemente i canali di infusione per evitare che si possano muovere durante il processo e che si possano scollegare dai serbatoi aspirando aria e vanificando tutto il procedimento.

Per manufatti di grandi dimensioni solitamente si predispongono molti canali di infusione che vengono aperti in tempi diversi compatibilmente con il percorso di diffusione della resina previsto.

Solitamente si prevede un percorso di infusione che parte dal centro e procede verso il perimetro per manufatti di grandi dimensioni, oppure che parte da un lato e raggiunge il lato opposto, dove è posizionata l'aspirazione, per pannelli piani di dimensioni contenute.

Durante l'infusione è importante monitorare la velocità del fronte della resina che solitamente è ben visibile al di sotto del sacco del vuoto.

Per fare questo è sufficiente segnare la posizione del fronte del flusso di resina con un pennarello sul sacco del vuoto ad intervalli di tempo costanti.

Va poi annotato lo spazio percorso tra una rilevazione e la successiva registrando così la variazione di velocità di infusione.

Ovviamente la velocità sarà massima all'inizio del processo e poi si ridurrà progressivamente per stabilizzarsi su un valore minimo finale.

Questa decrescita è accompagnata anche da una decrescita della depressione registrata dai manometri.

E' importante assicurarsi che la velocità della resina non cali a livelli talmente bassi da necessitare di un tempo di infusione superiore a quello di gelificazione della resina.

Il processo si può considerare concluso con successo quando tutta la superficie del manufatto è stata raggiunta dalla resina, a questo punto si possono chiudere i rubinetti di arresto dei canali di infusione e successivamente la pompa del vuoto.

La chiusura dei rubinetti di arresto deve precedere sempre lo spegnimento della pompa del vuoto per evitare un apporto di resina in eccesso allo stampo dovuto all'inerzia del sistema.

E' anzi buona norma mantenere accesa la pompa del vuoto a rubinetti chiusi per il tempo necessario a terminare il passaggio della resina allo stato solido, questo consente la realizzazione di laminati compatti e di qualità migliore.

A questo punto il processo si può dire terminato, bisogna tuttavia ricordare che la resina non è completamente catalizzata, anche se è già allo stato solido, e quindi bisogna far trascorrere un lasso di tempo che varia dalle 6 alle 24 ore per poter togliere il sacco del vuoto insieme all'aeratore e al peel ply e poter vedere il laminato.

3.2.10 – Pannello per eseguire test sui laminati

Se il manufatto che si intende realizzare per infusione ricopre un ruolo strutturale o è di importanza rilevante è necessario realizzare un pannello da dedicare ai test che determinano le caratteristiche fisiche del laminato.

Questo pannello viene comunemente denominato "panel test", si veda anche il paragrafo 4.10.

La realizzazione del panel test deve essere contestuale al manufatto principale per riprodurre fedelmente tutte le condizioni.

Nei casi in cui il manufatto preveda ampie zone da asportare durante il processo di allestimento dell'imbarcazione, ad esempio il foro per l'elica di prua, si può utilizzare il laminato di risulta.

Più comunemente è opportuno individuare una zona in eccedenza, prolungando lo stampo, che serve a realizzare il sopraccitato pannello.

In presenza di un piano di laminazione molto differenziato è opportuno realizzare più pannelli per i test, se invece la laminazione è sostanzialmente omogenea è sufficiente un singolo pannello delle dimensioni minime di 50 x 50 cm.

Quando si scopre il laminato è possibile osservarne la qualità visivamente e testarne la consistenza con apparecchi specifici.

Visivamente è possibile osservare se tutte le zone sono state impregnate dalla resina, il laminato secco, cioè senza resina, differisce da quello correttamente impregnato per consistenza, colore e spessore.

Con apparecchi meccanici è possibile operare delle prove non distruttive per determinare la durezza del laminato, con apparecchi muniti di punte detti durometri, oppure più in generale le sue qualità fisiche con apparecchi ad ultrasuoni.

I risultati più importanti rimangono comunque quelli per determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dal laminato che si possono eseguire sui pannelli opportunamente realizzati.

In generale i valori che è importante ottenere sono:

- Rapporto rinforzo/resina nei laminati
- Tensione di rottura delle pelli a trazione
- Tensione di rottura delle pelli a compressione
- Tensione di rottura delle pelli a flessione
- Tensione di rottura a taglio interlaminare delle pelli e fra pelli ed anima
- Tensione di rottura a taglio dell'anima
- Contenuto di resina nell'anima

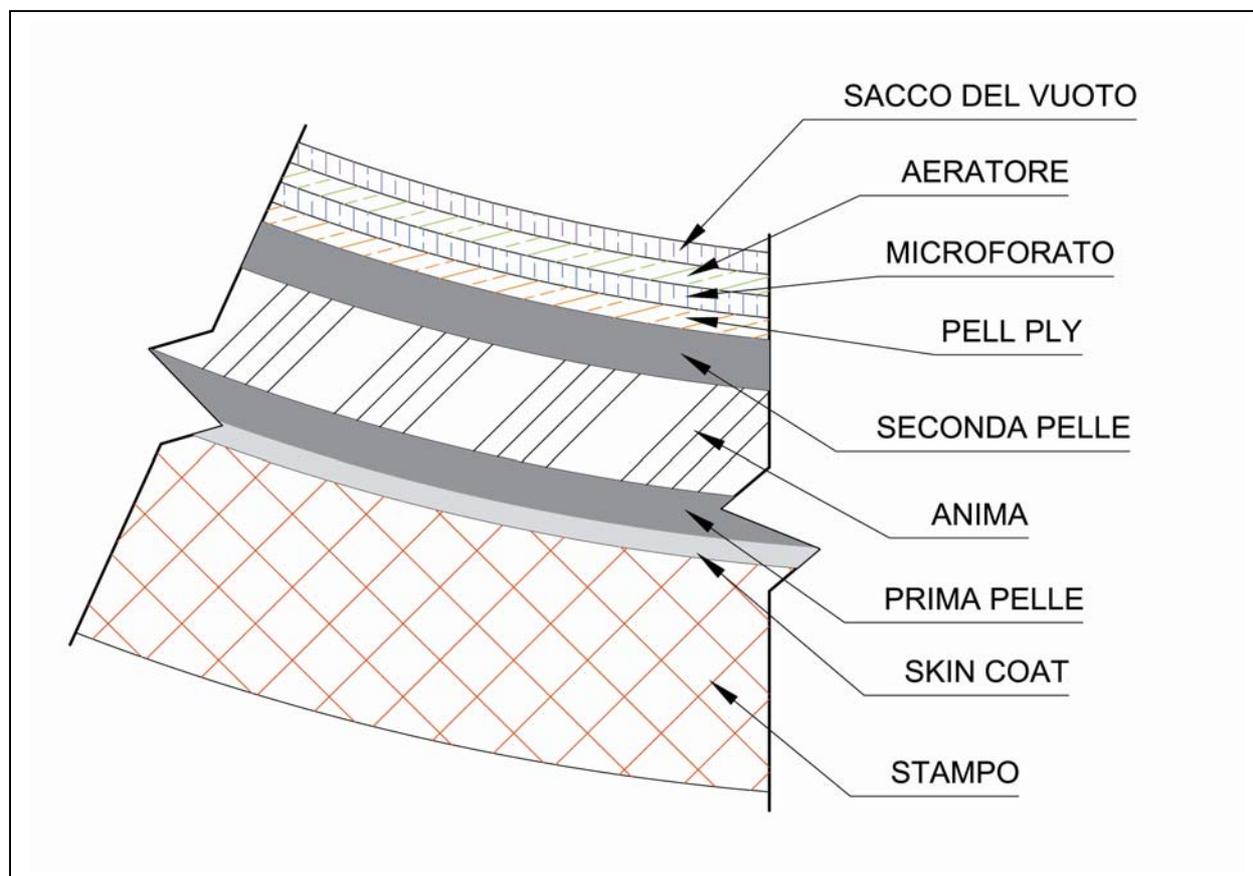


FIGURA 5 – LAMINAZIONE PER INFUSIONE, SUCCESSIONE DEGLI STRATI



3.3 – CARATTERISTICHE DEI LAMINATI

I laminati che si ottengono attraverso il metodo dell'infusione presentano delle caratteristiche peculiari che li differenziano per esempio da quelli ottenuti per laminazione manuale.

La prima differenza sostanziale è il rapporto fra il peso delle fibre di rinforzo e il peso resina per unità di composito.

Normalmente questo rapporto si indica con G_c .

In laminati realizzati manualmente G_c è normalmente compreso fra 0,4 e 0,5 (per tessuti di vetro E) ciò significa che per ogni Kg di composito sono presenti dai 400 ai 500 gr di fibre mentre il resto è resina (dai 600 ai 500 gr).

Questo significa che più della metà del peso del manufatto finale è costituito da resina.

Il limite minimo che la normativa impone per G_c è 0,3 cioè almeno il 30 % del peso del laminato deve essere costituito da fibre di rinforzo.

In realtà la resina ha il solo scopo di legante delle fibre che invece assolvono alla funzione strutturale reagendo alle tensioni che si generano per effetto delle sollecitazioni esterne.

Nei compositi realizzati per infusione il contenuto di resina è ridotto rispetto alle quantità sopra indicate.

Prendendo sempre ad esempio laminati costituiti da fibre di vetro E si ottiene mediamente un G_c che varia da 0,6 a 0,7 che significa dai 600 ai 700 gr di rinforzo per ogni Kg di composito.

La differenza di peso del manufatto finale è apprezzabile perché la quantità di fibre previste dai calcoli strutturali rimane pressoché costante ma diminuisce drasticamente la quantità di resina che l'accompagna.

Per meglio comprendere questo punto si veda la tabella sottostante che mostra come varia il peso totale di un laminato di 1 mq costituito da un tessuto di vetro E da 1200 gr/mq al variare di G_c .

Si noti che passando da un G_c di 0,3 ad uno di 0,7 il peso totale del laminato diventa meno della metà pur mantenendo costante la quantità di fibra di rinforzo.



Laminazione manuale (vetro E)				Laminazione per infusione (vetro E)			
Gc	Rinforzo (gr/mq)	Resina (gr/mq)	Peso tot (gr/mq)	Gc	Rinforzo (gr/mq)	Resina (gr/mq)	Peso tot (gr/mq)
0,3	1200	2800	4000	0,6	1200	800	2000
0,4	1200	1800	3000	0,65	1200	646	1846
0,5	1200	1200	2400	0,7	1200	514	1714

Il Gc diminuisce nei laminati realizzati in infusione perché la resina non è apportata manualmente, bagnando le fibre con rulli o macchine impregnatrici.

Quando la resina raggiunge le fibre, durante l'infusione, queste sono compresse dal sacco del vuoto e quindi la quantità di resina che richiamano dipende dal tipo di fibra e della sua orditura e non dalla perizia dell'operatore come nella laminazione manuale.

Va comunque ricordato che il basso contenuto di resina è in generale un vantaggio in termini di qualità del laminato, di pesi e di costi, purché la resina presente sia sufficiente a impregnare correttamente tutti i tessuti che altrimenti non acquistano le necessarie caratteristiche.

Un tessuto poco impregnato oltre ad avere delle caratteristiche fisico-meccaniche insufficienti tende a formare degli strati non correttamente uniti a quelli adiacenti e presenta quindi una scarsa attitudine a reagire a sollecitazioni di taglio interlaminare.

In particolare alcuni rinforzi, come quelli costituiti da fibre aramidiche o unidirezionali di carbonio, tendono per loro natura a richiamare poca resina ed esiste il pericolo che non vengano impregnati a sufficienza, al contrario tessuti come il Mat ne richiamano una grande quantità.

Per questo motivo è opportuno evitare una laminazione che preveda una successione di strati con queste fibre, in questi casi è necessario alternare ogni strato di aramidico o carbonio con uno di vetro E che comprenda del Mat.

In alternativa è possibile reperire sul mercato dei tessuti composti realizzati con fibre aramidiche o di carbonio unite a quelle di vetro E.



L'alto Gc che si ottiene con l'infusione è una delle cause del ridotto spessore dei laminati che si ottengono con questo metodo.

L'altra causa principale è la presenza del sacco del vuoto che compatta le fibre.

Con l'infusione si ottengono quindi laminati più compatti, con meno resina e quindi di spessore ridotto rispetto alla laminazione manuale.

La compattezza del laminato è in generale una caratteristica positiva in quanto scongiura la presenza di microcavità al suo interno che possono favorire il deterioramento del composito per l'instaurarsi di fenomeni come l'osmosi.

Gli spessori ridotti, a parità di rinforzo presente, indicano che l'infusione è un metodo particolarmente adatto ai pannelli in sandwich cioè realizzati con due pelli e un'anima interposta fra di esse.

Come è noto il sandwich è una struttura ad alto momento resistente in cui le tensioni di trazione e di compressione sono assorbite dalle pelli mentre le sollecitazioni di taglio sono assorbite dall'anima.

A parità di fibre presenti nelle pelli queste hanno uno spessore inferiore se realizzate in infusione, ma questo non è in generale un aspetto rilevante, purché non si scenda sotto gli spessori minimi previsti dalla normativa.

Lo stesso non si può dire per i laminati solidi (single skin), in questo caso le caratteristiche di compattezza del laminato rimangono un fattore positivo ma lo spessore ridotto può generare dei fenomeni di instabilità o deformazione eccessiva a causa del basso modulo di resistenza che la sezione è in grado di generare.

Per questi motivi solitamente l'infusione è utilizzata per realizzare manufatti in sandwich che eventualmente possono presentare zone isolate in laminato pieno di ridotte dimensioni e costituite, oltre all'unione delle due pelli, anche da rinforzi locali aggiuntivi che ne aumentano lo spessore.

Nella laminazione manuale l'anima è incollata alle pelli attraverso una apposita sostanza comunemente chiamata "bonder" che costituisce un sottile strato fra la prima pelle e l'anima.



Va notato che lo strato di bonder è in generale presente solo fra una pelle e l'anima nella laminazione tradizionale.

Nell'infusione invece l'adesione fra le due pelli e l'anima non è affidata al bonder ma alla resina stessa che impregna la prima pelle, passa attraverso l'anima e arriva ad impregnare la seconda pelle.

Questo percorso, che è possibile grazie ai fori distribuiti uniformemente nell'anima, fa sì che a processo ultimato le due pelli siano unite da chiodi di resina che attraversano l'anima.

Questa caratteristica conferisce al sandwich un'ottima resistenza a taglio interlaminare fra anima e pelli e una buona resistenza a schiacciamento dell'anima.

Va notato però che la quantità di resina necessaria per riempire i fori dell'anima contribuisce ad aumentarne il peso rispetto all'uso del bonder che di norma influisce in maniera minore.

La quantità di resina che rimane nell'anima dipende dal suo spessore e dalla sua conformazione.

Se, ad esempio, si decide di usare un'anima quadrettata, cioè costituita da cubetti tenuti insieme da una sottile rete superficiale, si avrà un alto contenuto di resina perché gli spazi vuoti presenti all'interno aumentano soprattutto se siamo in presenza di superfici curve.

In questo caso va presa in considerazione l'opzione di utilizzare pannelli semplicemente forati e sottoposti a preformatura a caldo, oppure di usare due pannelli di spessore ridotto sovrapposti uno all'altro se questo è possibile col metodo che si sta seguendo e se non si creano spazi vuoti fra essi.



4 – ANALISI DELLE FASI

Nei paragrafi successivi sono descritte le principali fasi che compongono il metodo della laminazione di compositi per infusione.

Si sottolinea come la buona riuscita del processo dipende dalla cura di ognuna di queste fasi che quindi devono essere oggetto della massima attenzione.

L'infusione è un processo tecnicamente più complesso rispetto alla laminazione manuale ed è in grado di produrre laminati con caratteristiche migliori, tuttavia va osservato che **non è un processo arrestabile o reversibile** una volta giunti alla fase finale di immissione della resina.

E' bene quindi osservare tutti gli accorgimenti di seguito descritti per non incorrere in inconvenienti che sono in generale di difficile risoluzione.



4.1 – PREPARAZIONE DELLO STAMPO

Lo stampo è il primo elemento che interviene nel processo e deve rispondere a determinati requisiti fondamentali senza i quali la qualità del manufatto finale è a rischio.

Nella maggior parte dei casi non è necessario approntare degli stampi nuovi passando dalle tecniche di laminazione tradizionali all'infusione purché si osservino le indicazioni seguenti che al più possono comportare semplici modifiche.

In generale è possibile utilizzare sia stampi “maschi” che stampi “femmina” sia in vetroresina che di altri materiali purché abbiano le caratteristiche richieste.

La prima caratteristica che si richiede ad uno stampo da utilizzare per il processo di infusione è la **robustezza**.

Come ricordato in precedenza la resina viene richiamata all'interno dello stampo grazie ad una differenza di pressione artificialmente creata dalla stazione del vuoto e con l'ausilio del sacco del vuoto.

Questa depressione sollecita lo stampo che può deformarsi o addirittura rompersi.

Nel caso di rotture il processo fallisce per perdita della depressione necessaria a richiamare la resina, mentre nel caso di deformazioni il prodotto finale sarà soggetto a gravi vizi riguardanti la sua geometria.

Solitamente gli stampi sono realizzati in vetroresina con strutture di rinforzo esterne, in questi casi può essere sufficiente aumentare le strutture di rinforzo dimezzando il loro interasse.

Un metodo semplice per essere sicuri di avere stampi sufficientemente strutturati è quello di eseguire una prova del “vuoto” senza laminati e senza procedere all'infusione.

Si può sagomare il sacco del vuoto, che potrà essere riutilizzato in seguito, approntare i canali di aspirazione, fissare il sacco allo stampo e creare la depressione o il “vuoto” come comunemente viene chiamato.

Mantenendo la pompa accesa per un lasso di tempo sufficientemente lungo è possibile osservare visivamente se lo stampo è soggetto a deformazioni.



Se lo stampo inizia a deformarsi è opportuno spegnere immediatamente la pompa, per evitare danni, e procedere ad un intervento volto ad aumentare le strutture di irrigidimento. Per stampi realizzati in legno o in altri materiali vale lo stesso principio, in particolare per gli stampi in legno, costruiti per realizzare un numero limitato di manufatti, è buona norma sovradimensionare le strutture in quanto il legno sottoposto alle sollecitazioni della depressione e alle temperature generate dalla catalizzazione della resina tende a deformarsi.

Oltre ad essere sufficientemente strutturato bisogna assicurarsi che lo stampo sia **stagno all'aria** in ogni punto della sua superficie.

Questa caratteristica, che di solito non è richiesta per laminazioni tradizionali, è invece fondamentale nel caso dell'infusione.

Per stampi realizzati in vetroresina e formati da un solo pezzo di solito non si presentano particolari problemi.

Più difficile è garantire che lo stampo sia stagno all'aria se è realizzato in più pezzi assemblati fra loro, in questo caso bisogna assicurarsi che le flangie di accoppiamento siano perfettamente accoppiabili e comunque procedere a sigillarle con idonei materiali malleabili specifici per questo utilizzo.

Nel caso di stampi realizzati in legno per garantire che non ci siano passaggi di aria è opportuno realizzare uno strato di vetroresina, costituito da uno o due tessuti di grammatura modesta, sulla sua superficie.

Dopo questi strati si può eseguire la carrozzeria e la finitura finale dello stampo.

Questa operazione crea una barriera impermeabile all'aria che altrimenti troverebbe sicuramente una via di passaggio fra le assi di legno.

Va tenuto presente che questa laminazione, anche se di modesta entità, ha uno spessore che deve essere tenuto in considerazione nella progettazione e realizzazione dello stampo per non modificare la geometria del manufatto finale.

Per stampi realizzati in altri materiali bisogna verificare che la porosità non permetta il passaggio di aria dall'esterno.

Oltre a questi accorgimenti bisogna prestare estrema attenzione a non eseguire fori nello stampo e a chiudere quelli esistenti.



E' consuetudine fissare le portate con delle viti allo stampo, questa pratica è estremamente pericolosa perché è facile creare delle vie di comunicazione fra l'interno e l'esterno dello stampo difficilmente visibili immediatamente ma causa di gravi problemi una volta realizzato il vuoto.

Infine uno stampo da adibire alla laminazione per infusione deve avere una **flangia perimetrale** che consenta il posizionamento delle linee di aspirazione e il fissaggio del sacco del vuoto.

Questa flangia deve correre lungo tutto il perimetro dello stampo ed essere sufficientemente ampia per accogliere comodamente il canale di aspirazione collegato alla pompa del vuoto ed il nastro di fissaggio del sacco del vuoto (tacky tape).

Le dimensioni minime di questa flangia sono di circa 150 mm, e la sua superficie deve essere mantenuta in buono stato per consentire la perfetta adesione del sacco.

Questa flangia può essere aggiunta a stampi già esistenti che non la possiedono, in generale si consiglia di creare una sede per lo scorrimento dei tubi di aspirazione e in "dente" che delimita la fine della laminazione.

La sede per accogliere la linea di aspirazione è di sezione semicircolare e permette di bloccare il tubo che altrimenti, sotto l'effetto della depressione, si potrebbe muovere strappando il sacco di vuoto.

Il "dente" ha il solo scopo di creare un confine netto fra lo stampo e la flangia perimetrale, siccome durante la fase di laminazione è impossibile stendere i tessuti con precisione millimetrica, solitamente si invade parzialmente la flangia, avere quindi un confine facilmente individuabile facilita le operazioni di rifilatura del manufatto finale.

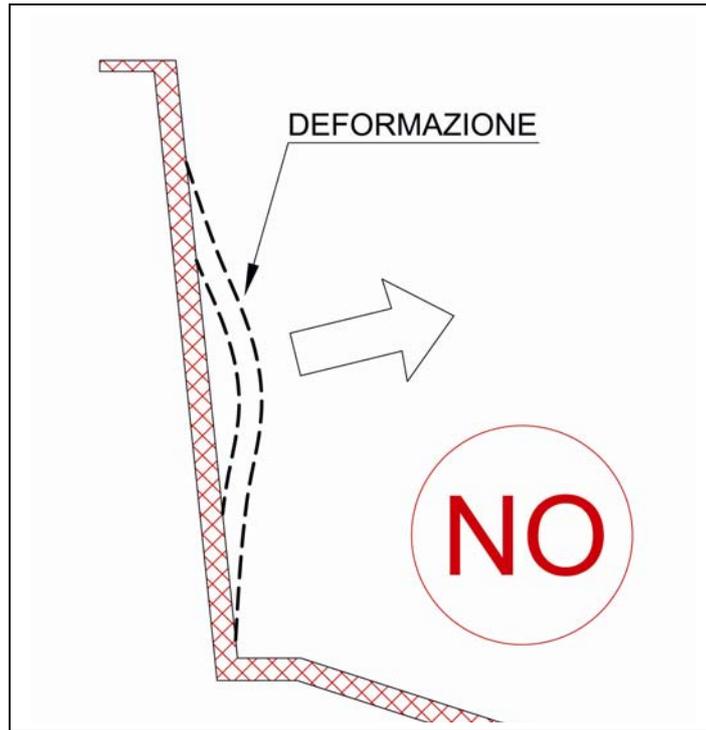


FIGURA 6 – DEFORMAZIONE DELLO STAMPO

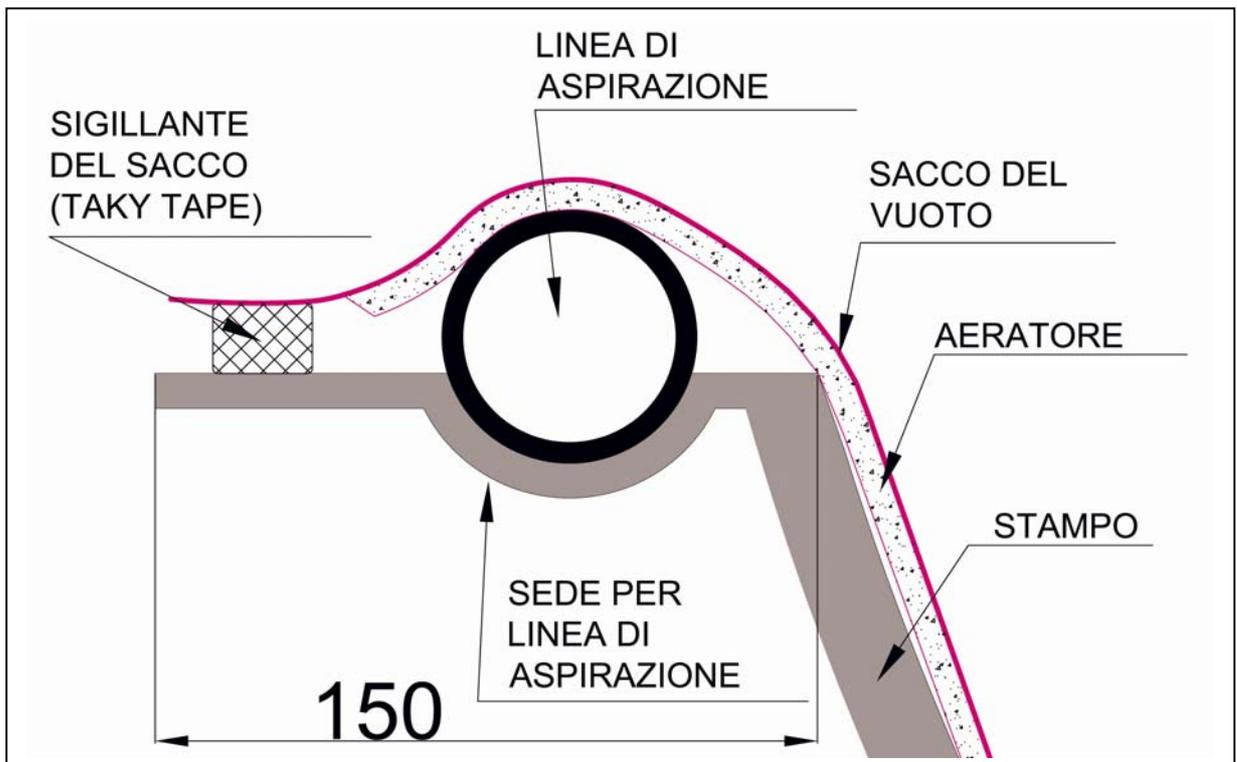


FIGURA 7 – PARTICOLARE DELLA FLANGIA STAMPO



4.2 – INSERIMENTO DELLE “PORTATE”

Le “portate” chiamate anche “tamponi” sono degli elementi, di solito in legno, che si posizionano all’interno dello stampo per modificarne la geometria in maniera veloce e reversibile.

Esempi tipici dell’uso di portate sono la realizzazione delle prese d’aria e di ribassi per ospitare osteriggi o vetrate.

Questa operazione è possibile anche nel caso della laminazione per infusione purché si osservino alcune semplici precauzioni.

Le portate devono essere sufficientemente **strutturate** per non deformarsi o addirittura implodere sotto l’effetto della depressione.

Così come per lo stampo la capacità di resistere alle sollecitazioni provenienti dalla differenza di pressione fra interno ed esterno è una caratteristica fondamentale per le portate.

Inoltre bisogna utilizzare solo portate che **non presentino cavità interne** o, in alternativa, che siano **perfettamente stagne**.

In caso contrario la resina penetrerebbe all’interno della portata fino a riempirla dando luogo ad un accumulo estremamente pericoloso per la possibilità di generare picchi esotermici in grado di innescare processi di combustione.

Anche nell’ipotesi meno grave di scongiurare combustioni, l’accumulo di resina all’interno di una o più portate potrebbe rendere insufficiente la resina per impregnare tutti i tessuti e comunque questi accumuli andrebbero rimossi a processo ultimato, operazione non facile e comunque onerosa.

Anche il **fissaggio delle portate** è molto importante, bisogna assicurarsi che siano solidamente ancorate alla superficie dello stampo e che vi **aderiscano perfettamente**.

Un fissaggio approssimativo darebbe luogo ad uno spostamento della portata stessa durante la fase di messa in depressione del sacco del vuoto, va tuttavia ricordato di non usare viti per fissare le portate perché si potrebbero creare delle vie di ingresso dell’aria.



Anche se le viti non raggiungono la superficie esterna dello stampo possono raggiungere intercapedini eventualmente presenti nello spessore del laminato che costituisce lo stampo, di solito non particolarmente compatto.

Queste sacche di aria possono essere in comunicazione con altre che a loro volta comunicano con l'esterno vanificando il tentativo di mettere in depressione il sistema.

Questa eventualità non è affatto remota e rappresenta un grave ostacolo alla buona riuscita dell'infusione in quanto l'ingresso di aria dall'esterno è molto lento ed è praticamente impossibile arrestarlo una volta che non si può più accedere all'interno dello stampo.

Nel caso di una adesione non perfetta fra superficie della portata e superficie dello stampo si potrebbero generare dei volumi vuoti che sarebbero riempiti dalla resina nella fase di infusione.

Come conseguenza si avrebbe la formazione di accumuli di resina con i pericoli sopra descritti.



FIGURA 8 – PERICOLO DI ACCUMULO DI RESINA IN PORTATE CAVE



FIGURA 9 – PERICOLO DI DEFORMAZIONE DELLE PORTATE

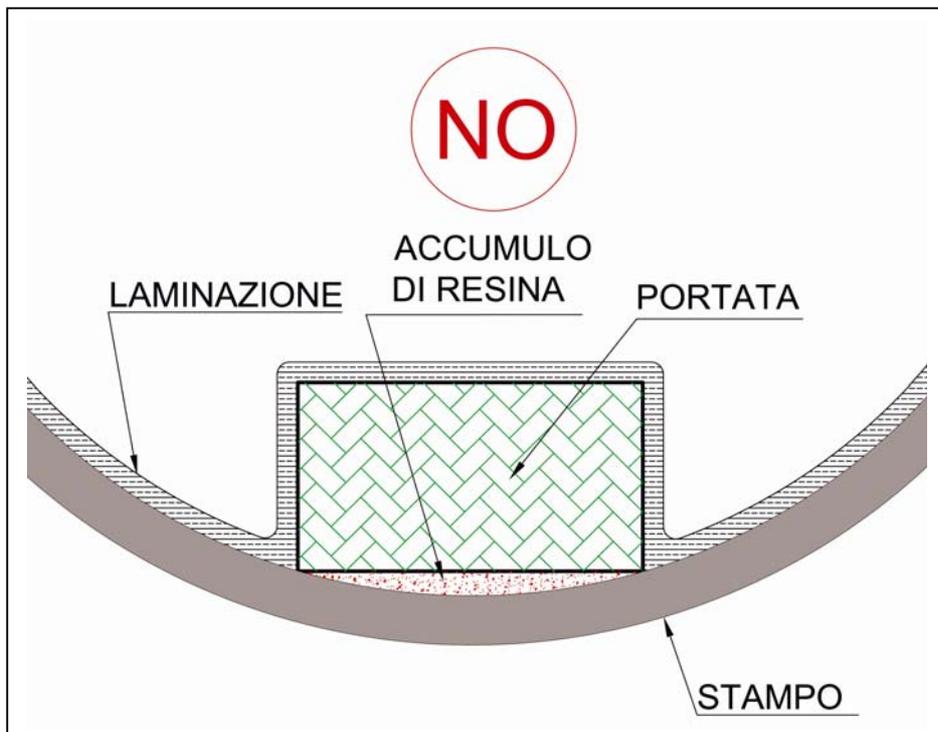


FIGURA 10 – PERICOLO DI ACCUMULO DI RESINA PER PORTATE NON ADERENTI ALLO STAMPO



4.3 – STESURA DEL DISTACCANTE, DEL GEL COAT E DELLO SKIN COAT

La stesura di questi strati non differisce rispetto a quanto avviene con altri metodi di laminazione.

Il **distaccante** è un prodotto che si cosparge su tutta la superficie dello stampo per facilitare il distacco del manufatto una volta completato il processo di laminazione.

L'uso corretto del distaccante permette di mantenere in ottimo stato lo stampo e di prolungarne la vita.

Il **gel coat** è un prodotto a base di resina che si usa per creare una superficie esterna del manufatto di buona qualità e pronta per essere verniciata.

Il gel coat si stende con rullo o con pennello e, nel caso di scafi o coperte, serve anche a costituire una barriera di protezione dagli agenti esterni.

Lo **skin coat** è invece costituito normalmente da due strati di Mat laminati manualmente e si adotta per evitare di rendere visibili sulla superficie esterna del manufatto le sovrapposizioni dei tessuti o la loro trama, comunemente chiamate “**marcature**”.

In particolare con il metodo dell'infusione, i tessuti sono compressi dal sacco del vuoto e quindi le “marcature” sono particolarmente evidenti, si raccomanda quindi di utilizzare uno skin coat costituito da almeno due strati di Mat 450.

Lo skin coat ha anche la funzione strutturale di dissipare eventuali urti di lieve entità in cui l'imbarcazione può incappare, le fibre del Mat non essendo stabilmente legate le une alle altre sono in grado di assorbire gli urti proteggendo la laminazione sottostante.

Il distaccante, il gel coat e lo skin coat devono essere compatibili con la resina che sarà adottata per l'infusione, per questo si raccomanda di contattare il produttore o di realizzare delle prove su laminazioni di modesta estensione.



4.4 – STESURA DELLA PRIMA PELLE

La stesura dei tessuti di rinforzo avviene a secco nel metodo nella laminazione per infusione, come già ricordato in precedenza, ciò ne facilita il posizionamento e permette di usare tessuti con grammatura elevata.

Nella laminazione manuale ogni tessuto deve essere bagnato sufficientemente con la resina prima di essere posizionato sullo stampo, con ovvie difficoltà nel maneggiare il rinforzo e un tempo limitato per completare l'operazione.

Normalmente infatti bisogna completare la laminazione entro l'inizio della catalizzazione della resina, ciò costituisce un limite soprattutto per manufatti di grandi dimensioni.

Inoltre bisogna tagliare i tessuti in pezze che possano essere impregnate e maneggiate dagli operatori.

Posizionando i tessuti a secco invece non è necessario realizzare pezze di dimensioni ridotte, è sufficiente stendere il tessuto dal rotolo in cui viene commercializzato, sullo stampo tagliandolo solo quando si è giunti al margine perimetrale.

Inoltre è possibile utilizzare rinforzi con **grammature elevate** riducendo il numero degli strati da posizionare, e quindi i tempi di lavoro.

Infine i tessuti sono riposizionabili, essendo infatti secchi possono essere assestati fino a quando non si è assolutamente convinti della loro posizione.

Tutto ciò consente di realizzare pienamente tutte le indicazioni progettuali quali, ad esempio, l'entità della sovrapposizione fra tessuti o le dimensioni dei rinforzi locali.

Come già ricordato in precedenza è possibile utilizzare tessuti di vetro, di carbonio e di fibre aramidiche, anche se va ricordato che ognuna di questi richiama un contenuto di resina diverso.

E' quindi sconsigliato, ad esempio, realizzare un piano di laminazione con una lunga successione di strati di fibre aramidiche perché si corre il rischio di non riuscire ad impregnarle correttamente.

Similmente è sconsigliato prevedere una serie di strati costituiti da solo mat di vetro in quanto si avrebbe, all'opposto, un'alta concentrazione di resina.



Per questi motivi è opportuno intervallare strati di aramide o di carbonio con strati in vetro in modo da ottenere risultati equilibrati.

E' anche possibile reperire sul mercato tessuti che sono realizzati da fibre di diversa natura e che quindi si bilanciano dal punto di vista della resina necessaria.

La stesura dei tessuti a secco può durare quindi molte ore, addirittura diversi giorni in alcuni casi, bisogna però prestare estrema attenzione a preservare pulito l'ambiente dove è ospitato lo stampo per evitare che residui di fibre o polveri si depositino sui tessuti e vengano inglobati nella laminazione.

In particolare se la stesura dei materiali si protrae nel tempo è opportuno coprire lo stampo con teli di plastica fra una sessione lavorativa e la successiva.

E' buona norma inoltre operare i tagli dei tessuti al di fuori dello stampo per evitare che residui di fibre vi cadano all'interno.

Inoltre è bene non camminare sui laminati stesi perché è altamente probabile sporcarli o spostarli inavvertitamente creando delle zone deboli.

Avendo la possibilità di lavorare con tessuti secchi la soluzione ideale è quella di tagliarli preventivamente e stocarli per poi poterli stendere velocemente.

Conoscendo la geometria dello stampo è possibile preparare tutte le pezze prima di iniziare le operazioni di stesura, sul mercato inoltre operano delle ditte in grado di fornire i tessuti già tagliati.

Infine bisogna assicurarsi che i tessuti non si muovano durante le fasi che seguiranno.

In alcuni casi poi si presentano delle zone con elevata pendenza e quindi i tessuti potrebbero ripiegarsi su se stessi sotto l'azione del loro stesso peso.

Per mantenere le fibre in posizione sono usati dei collanti spray inerti che non interferiscono con la resina.

Si raccomanda di usare solo collanti approvati dal produttore della resina e la cui efficacia sia comprovata.

In alternativa si possono utilizzare degli spilli, appositamente studiati, particolarmente lunghi e sottili in grado di tenere i tessuti uniti fra loro.

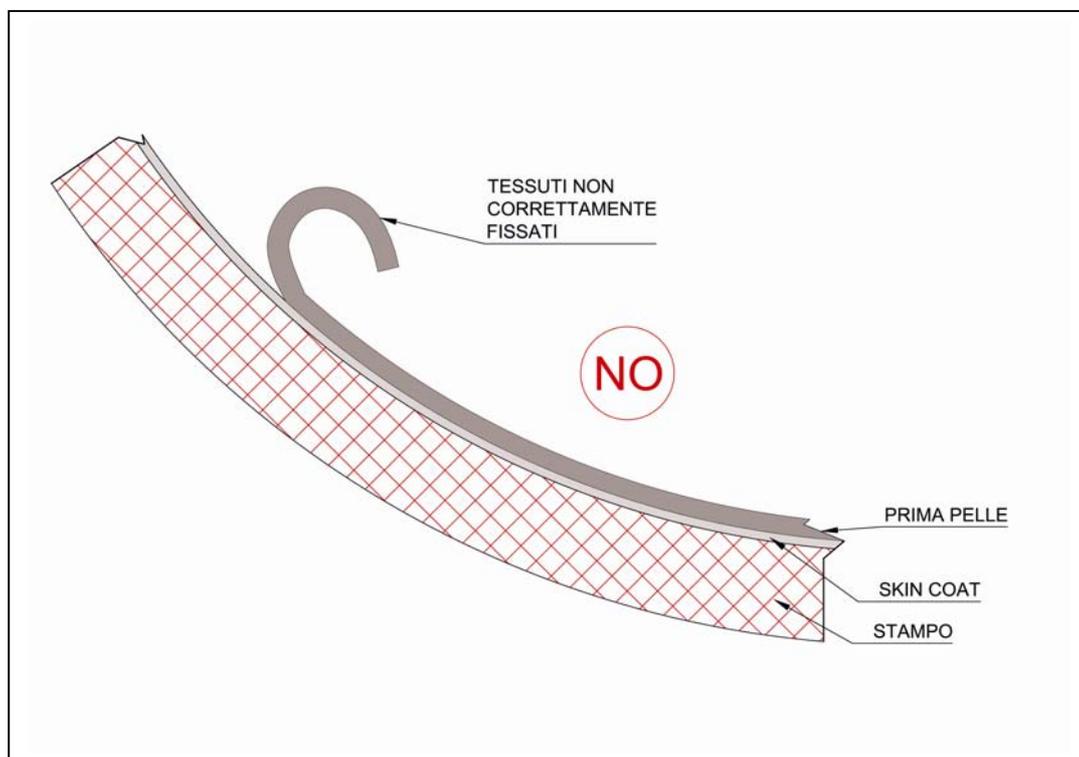


FIGURA 11 - TESSUTI NON CORRETTAMENTE FISSATI



4.5 – STESURA DELL'ANIMA

L'anima che viene interposta fra le due pelli è in generale costituita da materiale leggero, per esempio PVC, ed ha lo scopo principale di distanziare le pelli per aumentare il modulo di resistenza della sezione.

Nella laminazione manuale l'anima viene posata sulla pelle precedentemente stesa, e già solidificata, incollandola con un materiale chiamato bonder.

Il bonder si stende manualmente avendo cura di creare uno strato omogeneo per poi posare i pannelli costituenti l'anima.

Nella laminazione per infusione invece, l'anima viene semplicemente appoggiata alla pelle precedentemente stesa, e non ancora impregnata, senza l'ausilio di alcuna sostanza.

Sarà la resina, infusa alla fine del procedimento, che costituirà il mezzo di unione fra le pelli e l'anima.

In generale le anime adatte all'infusione presentano delle caratteristiche peculiari che le rendono adatte a questo procedimento.

La prima caratteristica è che devono permettere il deflusso della resina da una faccia all'altra per consentire alla resina di impregnare entrambe le pelli.

Per consentire questo processo i **pannelli costituenti l'anima sono dotati di fori** di passaggio opportunamente dimensionati e spazati.

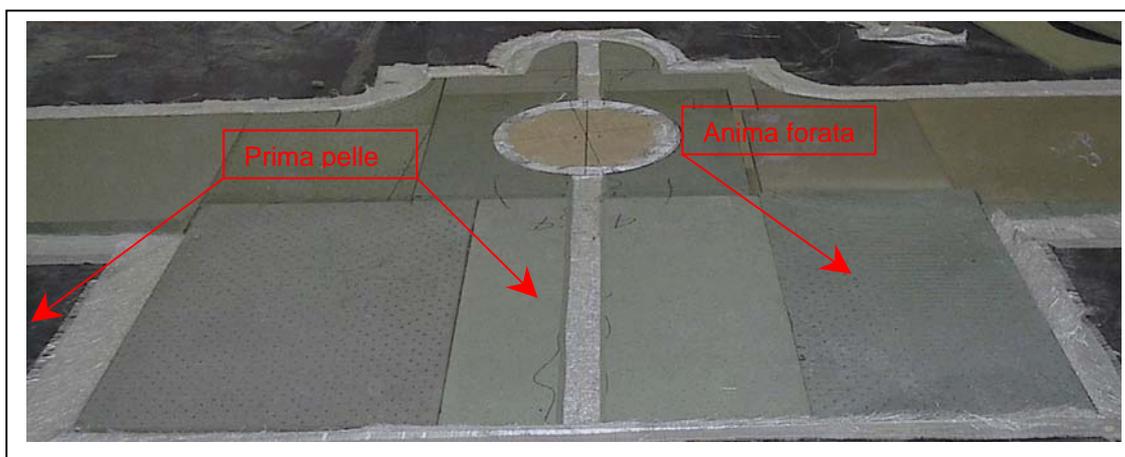


FIGURA 12 – POSIZIONAMENTO DELL'ANIMA

Foto riprodotta per gentile concessione di A.C.T.



La resina passerà quindi, attraverso questi fori, dalla pelle che si trova più in basso a quella più in alto e, oltre ad impregnare entrambe le pelli, occuperà stabilmente questi canali creando dei chiodi di resina che uniscono stabilmente le due pelli e conferiscono all'anima ottime caratteristiche meccaniche.

In particolare, rispetto all'incollaggio con bonder, il sandwich realizzato in infusione ha una maggiore resistenza a taglio interlaminare fra pelli e anima e delle migliori caratteristiche di resistenza a taglio e a schiacciamento dell'anima.

I fori che mettono in collegamento le due facce dei pannelli sono quindi un elemento necessario ed indispensabile che è parte integrante del sistema.

Naturalmente il peso finale del sandwich risentirà del peso della resina necessaria all'anima in misura proporzionale alla densità dei fori e alla loro altezza, che è poi l'altezza dell'anima.

Un modo molto semplice per stabilire a priori quanta resina occorrerà per l'anima è quella di calcolare il volume di ogni canale di collegamento e moltiplicarlo per i fori presenti in un metro quadro, se si desidera sapere il peso è necessario moltiplicare questo volume per il peso specifico della resina.

In alcuni casi è anche possibile utilizzare anime quadrettate, cioè costituite da parallelepipedi uniti da sottili strati di tessuto su una faccia, questi pannelli hanno la peculiarità di adattarsi a superfici curve.

Va tuttavia ricordato che non tutti i metodi di infusione prevedono questo tipo di anima e che comunque la resina che andrà nell'anima sarà nettamente superiore rispetto a pannelli semplicemente forati.

Se si è quindi in presenza di superfici curve è preferibile adottare altre strategie come per esempio preformare i pannelli o adottare pannelli di spessore ridotto sovrapposti.

Nel primo caso bisogna sagomare il perimetro del pannello in modo che coincida perfettamente con gli altri, tenerlo perfettamente aderente allo stampo per mezzo di mezzi meccanici e scaldarlo per rendere permanente la sua deformazione.

Solitamente, una volta sagomati, i pannelli sono tenuti aderenti allo stampo per mezzo di stecche di legno, nastri tensionabili, o addirittura mettendo sotto pressione il sacco del vuoto.



Quando si è sicuri che i pannelli sono aderenti allo stampo e che i loro perimetri sono efficacemente sagomati non presentando spazi vuoti o sovrapposizioni, si può scaldare l'ambiente o la zona interessata per rendere permanente la deformazione.

Una volta che la deformazione è permanente e l'ambiente si è nuovamente raffreddato si può togliere il sacco del vuoto, che sarà riutilizzato per l'infusione finale, o gli altri mezzi usati per tenere in forma i pannelli.

Se non è possibile praticare il metodo appena esposto, si può pensare di adottare un'altra strategia per assecondare la geometria dello stampo e cioè quella di sovrapporre due o più pannelli di spessore inferiore.

Se ad esempio il piano di laminazione prevede un'anima di spessore 30 mm ma in alcuni punti non si riesce a far aderire i pannelli allo stampo, è a volte possibile utilizzare due pannelli di spessore 15 mm sovrapposti o tre pannelli da 10 mm.

Chiaramente pannelli di spessore minore si deformano con più facilità, si vengono a creare però degli inconvenienti quali lo slittamento di un pannello sull'altro e la perdita di coincidenza dei fori.

Se si utilizzano infatti due pannelli sovrapposti, e ancora di più nel caso di tre pannelli, risulta più facile curvarli, ma il pannello che si trova più in alto presenterà un raggio di curvatura diverso rispetto a quello sottostante, la differenza è appunto il suo spessore, e quindi una lunghezza proiettata maggiore tendendo quindi a fuoriuscire dal perimetro del pannello sottostante e creando una zona perimetrale frastagliata che va rifilata per non avere vuoti di materiale e quindi potenziali accumuli di resina.

Inoltre i fori del pannello sottostante non coincideranno più con quelli del pannello sovrastante rendendo più difficile il percorso della resina che procederà a zig zag.

Si raccomanda quindi di utilizzare questa strategia solo per zone limitate e solo dopo aver acquisito la necessaria esperienza anche attraverso test su pannelli campione.

In alcuni metodi di infusione le facce dall'anima presentano delle incisioni che sono la sede dove scorrerà la resina durante la fase di infusione.

In altri metodi i canali sono invece rappresentati da tubi forati o da spirali di filo metallico, dette "molle", attraverso i quali scorre la resina per raggiungere tutte le zone.



In ogni caso il **materiale costituente l'anima deve essere compatto** e non presentare cavità interne che sarebbero riempite totalmente dalla resina, per questo motivo non si possono impiegare materiali a nodo d'ape o che comunque presentino delle celle vuote all'interno.

Inoltre bisogna assicurarsi che l'anima sia costituita da **materiale degassificato** cioè di materiale che è stato sottoposto ad un ciclo di trattamento volto ad eliminare i gas eventualmente presenti all'interno.

La degassificazione è molto importante perché, come già ricordato, la resina durante il processo di solidificazione produce calore che faciliterebbe la fuoriuscita dei gas intrappolati nell'anima creando delle bolle che rimarrebbero intrappolate nel sandwich.

Queste bolle sono motivo di frequenti problemi localizzati sia strutturali che estetici.

Va ricordato inoltre che bisogna prestare particolare attenzione ad **eliminare tutti gli spazi vuoti** che la posa dell'anima può creare.

In particolare ogni pannello va opportunamente sagomato lungo il suo perimetro in modo che coincida perfettamente con quelli limitrofi e non ci siano zone scoperte.

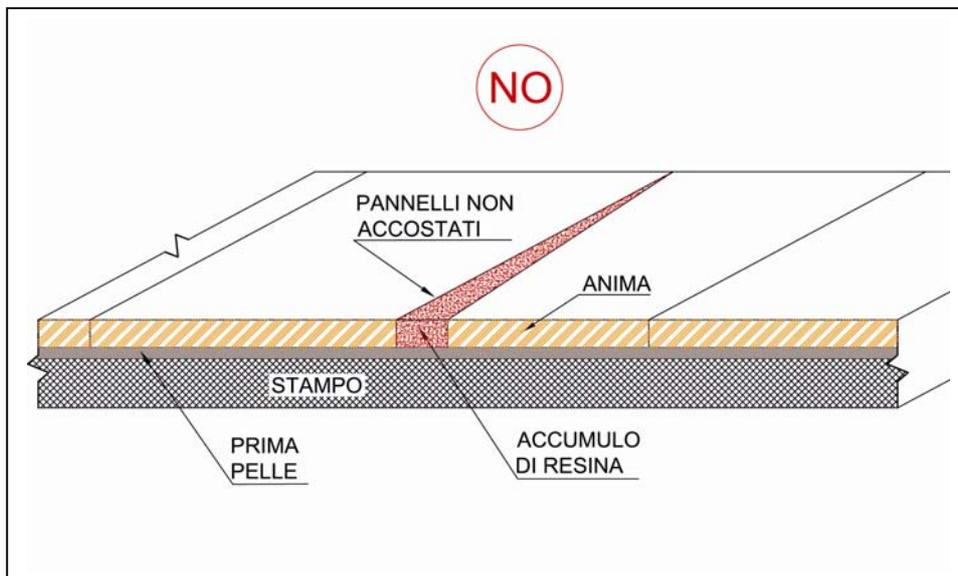


FIGURA 13 – PERICOLO DI ACCUMULI DI RESINA FRA PANNELLI NON PERFETTAMENTE ACCOSTATI

A tale proposito si ricorda che operano sul mercato ditte in grado di formare i pannelli dell'anima già pretagliati e preformati in base alla geometria del manufatto da realizzare. Similmente è pericoloso creare delle parziali sovrapposizioni fra pannelli limitrofi che darebbero luogo a cavità sottostanti.

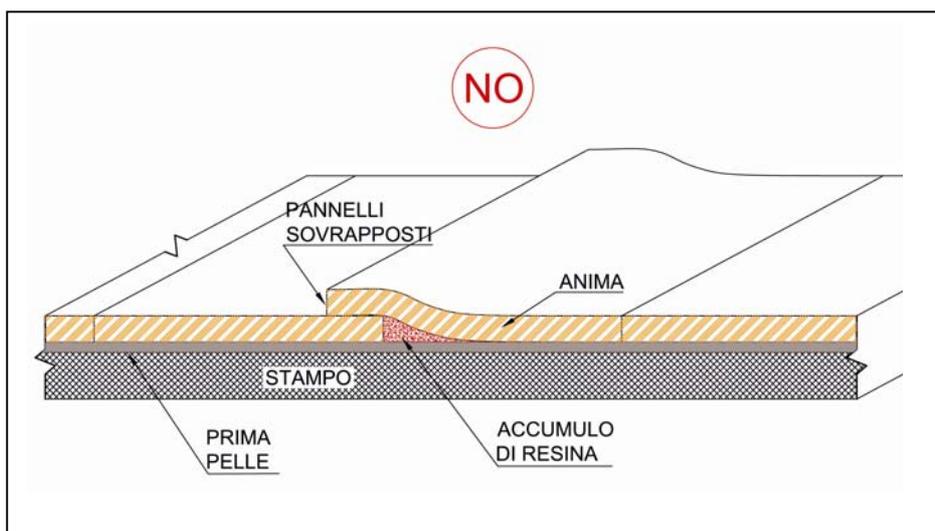


FIGURA 14 – PERICOLO DI ACCUMULI DI RESINA FRA PANNELLI SOVRAPPOSTI



Altri punti critici sono gli spigoli e le zone di passaggio da sandwich a laminato solido.

Negli spigoli solitamente è presente un raggio di curvatura che raccorda le due superfici. Se il raggio di curvatura è ampio è necessario far terminare l'anima prima dell'inizio della zona di raccordo, con uno smusso a 45°, e prevedere per quest' area un laminato pieno o un'anima di spessore inferiore, se il raggio di raccordo lo permette.

Va ricordato che il laminato pieno realizzato in infusione ha uno spessore assai contenuto e quindi esiste la possibilità di creare dei punti deboli negli spigoli realizzati in tale maniera. Si raccomanda quindi di rastremare sempre l'anima nelle zone di passaggio a laminato solido, per dissipare le tensioni in maniera graduale, ed eventualmente prevedere dei rinforzi localizzati in corrispondenza di questi punti.

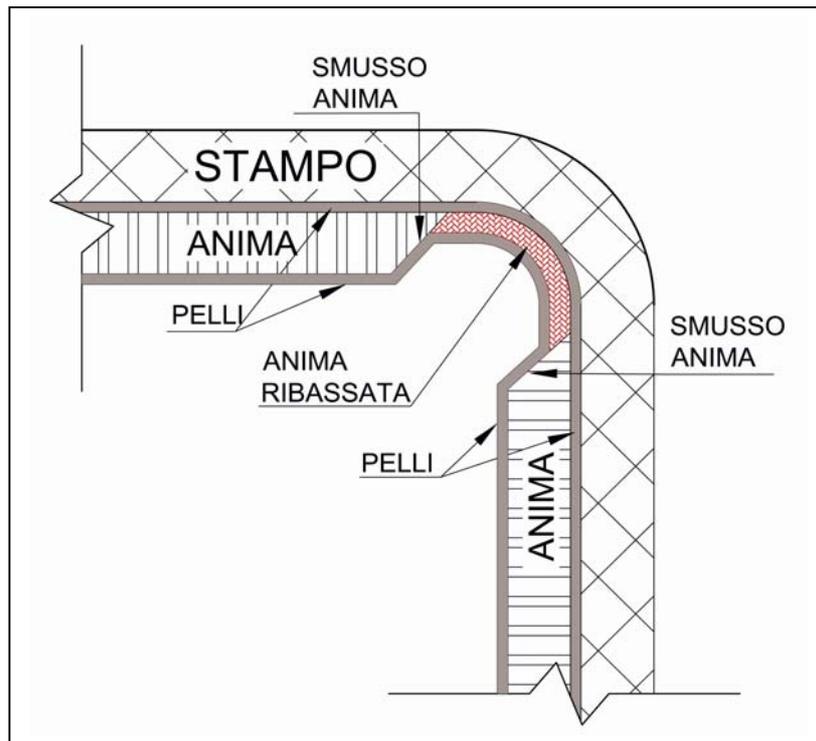


FIGURA 15 – PARTICOLARE DELLO SPIGOLO CON ANIMA A SPESSORE RIDOTTO

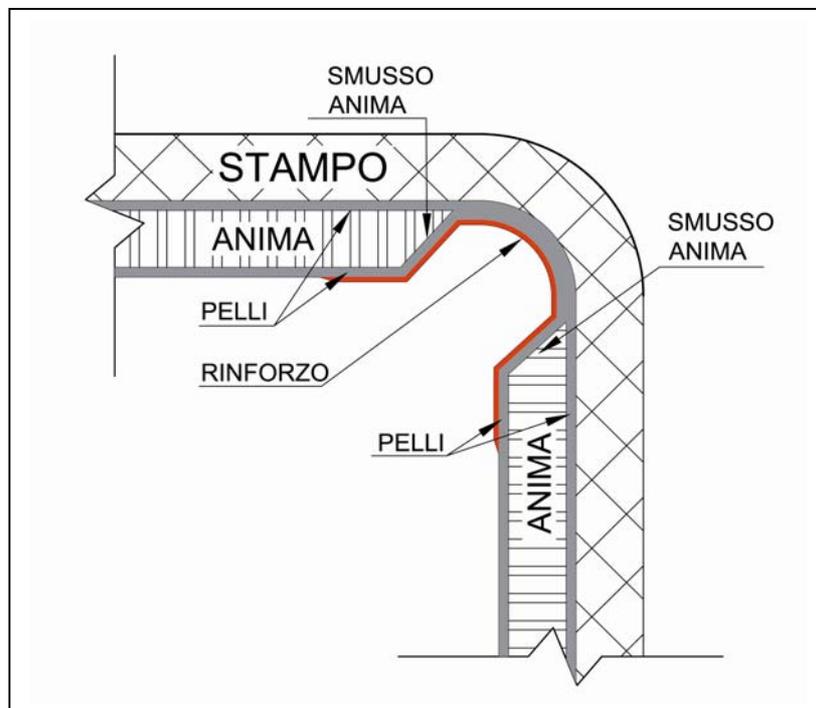


FIGURA 16 – PARTICOLARE DELLO SPIGOLO CON RINFORZO LOCALE



Se invece il raggio di raccordo è molto piccolo è possibile accostare i pannelli di testa, eventualmente smussando leggermente uno dei due se le superfici non sono perpendicolari fra loro, come accade di sovente.

Accostando i pannelli di testa anche nello spigolo è presente il sandwich e quindi si ha una maggiore rigidità.

Alle volte è necessario realizzare degli **inserti nell'anima in materiali diversi**, ad esempio legno, per creare delle zone di maggior consistenza.

Questa pratica è possibile anche con il metodo dell'infusione purché si adottino alcune avvertenze.

L'inserto infatti deve essere ben sagomato e non lasciare spazi vuoti intorno, deve essere costituito da materiale senza cavità interne e deve ricoprire un'area molto limitata.

Infatti ricordiamo ancora una volta che la resina deve passare attraverso l'anima, se si usano inserti in materiale non forato il flusso di resina deve aggirarli per poter proseguire il suo cammino, per questo motivo si raccomanda di forare sempre gli inserti per omogeneizzarli con il materiale dell'anima.

Nonostante la foratura è bene limitare l'uso degli inserti a piccole zone ben delimitate, a questo proposito si fa notare che il sandwich realizzato in infusione presenta un'ottima attitudine a resistere a schiacciamento in virtù della resina presente al suo interno, pertanto si possono di frequente eliminare alcuni inserti.

Si consiglia di realizzare dei test su pannelli campione per ottenere dei dati precisi in questo senso.

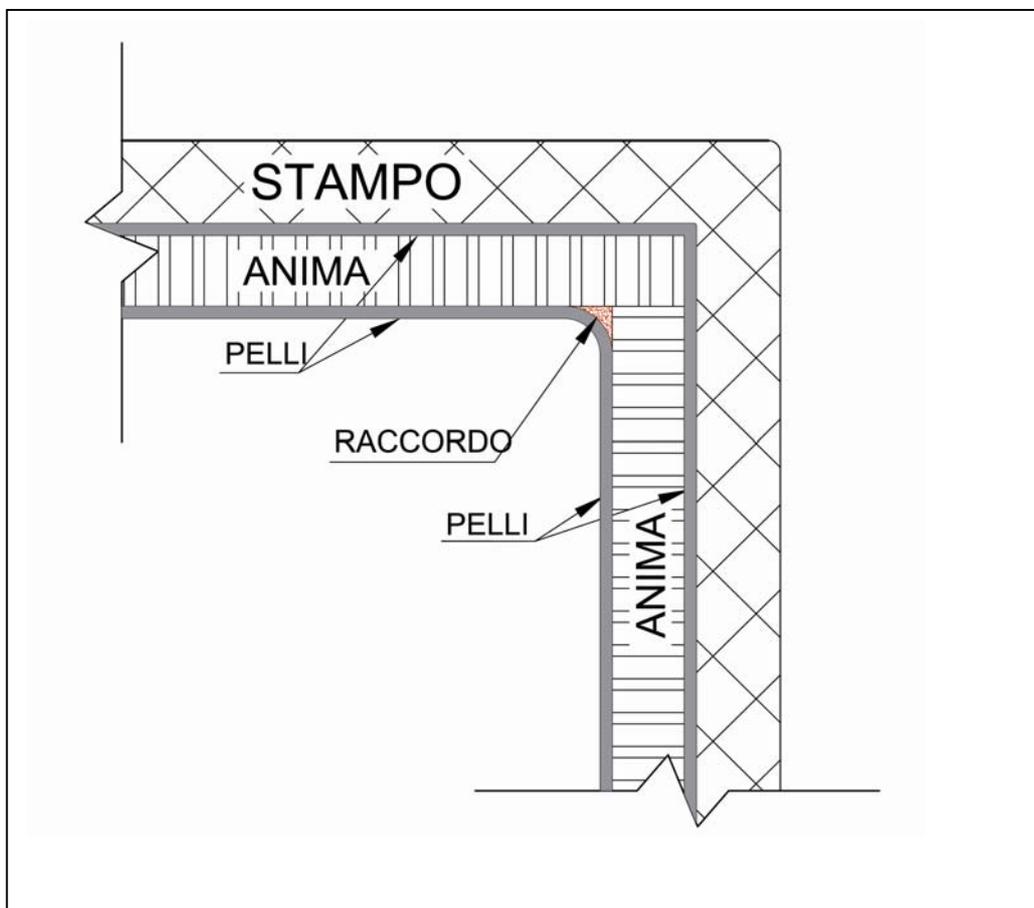


FIGURA 17 – PARTICOLARE DELLO SPIGOLO CON ANIME ACCOSTATE DI TESTA



4.6 – STESURA DELLA SECONDA PELLE

La stesura della seconda pelle è una operazione del tutto simile a quella relativa alla prima pelle precedentemente esposta.

I tessuti vengono sempre stesi a secco avendo cura di posizionarli secondo il piano di laminazione e di non spostare i materiali già posizionati.

In particolare si ricorda di non camminare sopra al manufatto ancora da impregnare con la resina in quanto si potrebbero creare seri danni come lo schiacciamento dell'anima o lo spostamento dei materiali sottostanti.

Come per la prima pelle va raccomandato di assicurarsi che i tessuti siano efficacemente fissati all'anima soprattutto in zone ad alta pendenza per evitare che si ripieghino su se stessi.

Si consiglia eventualmente di usare colle spray inerti che non interferiscono con il processo di catalizzazione della resina o gli appositi spilli già citati.

Va inoltre ricordato di operare in ambiente pulito e privo di polveri in sospensione che andrebbero a depositarsi sul manufatto e poi sarebbero inglobate nella laminazione. Come già ricordato in precedenza se la stesura dei tessuti si protrae per molto tempo è necessario coprire lo stampo con teli di plastica.

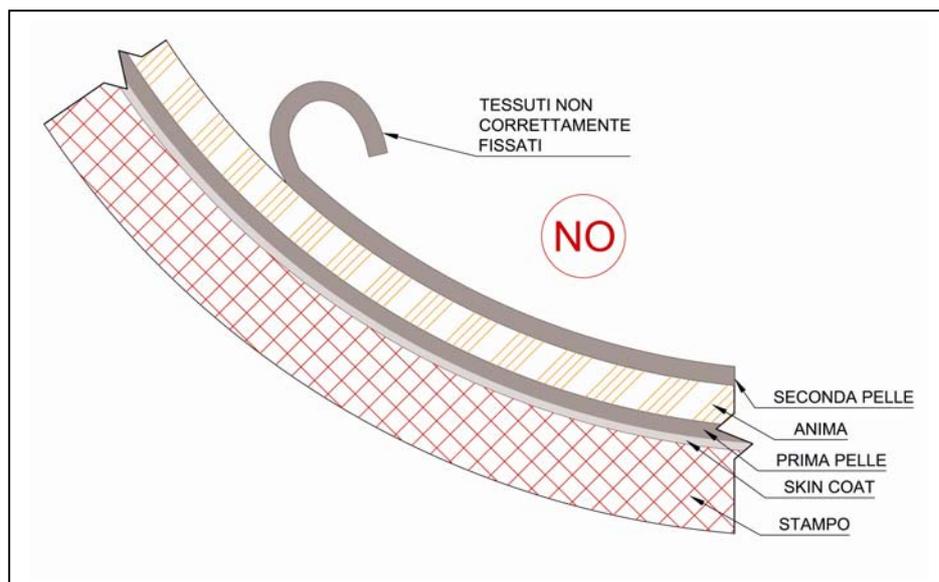


FIGURA 18 – TESSUTI NON CORRETTAMENTE FISSATI



FIGURA 19 – STESURA DELLA SECONDA PELLE

Foto riprodotta per gentile concessione di A.C.T.



4.7 – REALIZZAZIONE DELLE STRUTTURE

Alcune tecniche di infusione offrono la possibilità di stendere anche alcune strutture a secco per poi infonderle contemporaneamente al manufatto.

Ricordiamo che le strutture sono costituite in generale da un'anima in poliuretano ricoperta da fibre di rinforzo.

Va sottolineato subito che il poliuretano, o in generale l'anima delle strutture, deve essere compatibile con la resina che si andrà ad infondere ma che quest'ultima non lo attraverserà come nel caso dell'anima del sandwich.

L'anima delle strutture infatti, nella maggioranza dei casi, ha il solo scopo di modellarne il laminato ma non presenta fori o in generali canali di scorrimento per la resina e quindi costituisce una barriera per il suo flusso.

Vanno quindi realizzate in infusione solo quelle strutture compatibili con il progetto di infusione della resina che si è realizzato.

In particolare le strutture trasversali al flusso di infusione devono essere evitate perché costituiscono uno ostacolo e la resina può non impregnare correttamente i tessuti circostanti.

L'altezza delle strutture è un altro fattore da tenere sotto controllo, sia perché la parte alta potrebbe non essere raggiunta dalla resina, sia perché sotto l'azione del sacco del vuoto si potrebbero avere delle deformazioni anche importanti.

Nel caso si avesse quindi la necessità di posare delle strutture bisogna assicurarsi che siano disposte parallelamente al flusso della resina e che la loro altezza non comporti i problemi sopra citati.

In alcuni casi, per evitare deformazioni, è consigliabile puntellare le strutture all'esterno del sacco del vuoto.

Si può cioè completare tutto l'iter fino alla stesura del sacco del vuoto e poi, prima della creazione del vuoto, inserire trasversalmente alle strutture da realizzare dei setti di materiale leggero, ad esempio poliuretano, opportunamente sagomati per evitare deformazioni.



Va prestata estrema attenzione, come per l'anima del sandwich, a non lasciare spazi vuoti fra le strutture e i materiali sottostanti che potrebbero essere causa di accumuli di resina. Va anche sottolineato come è importante posizionare correttamente i tessuti delle strutture e fissarli in maniera efficace, in caso contrario si potrebbero spostare durante le fasi finali del processo determinando delle ondulazioni particolarmente gravi nel caso di rinforzi unidirezionali.

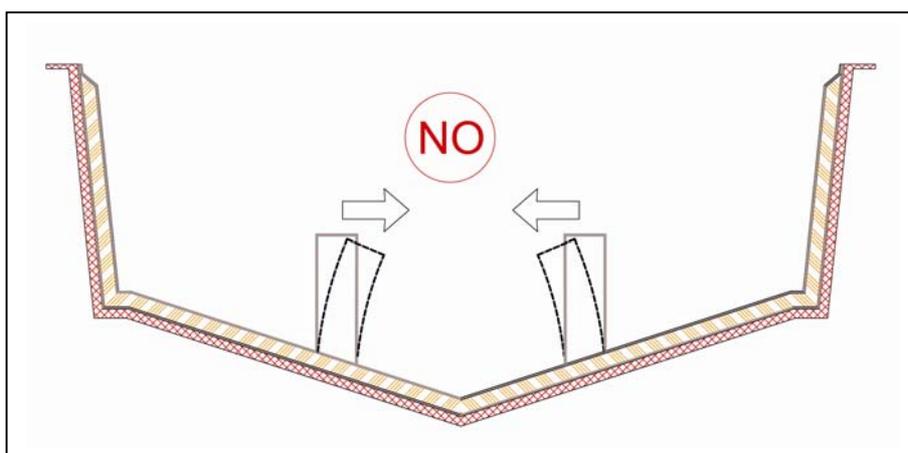


FIGURA 20 – STRUTTURE DEFORMATE DALL'AZIONE DEL "VUOTO"

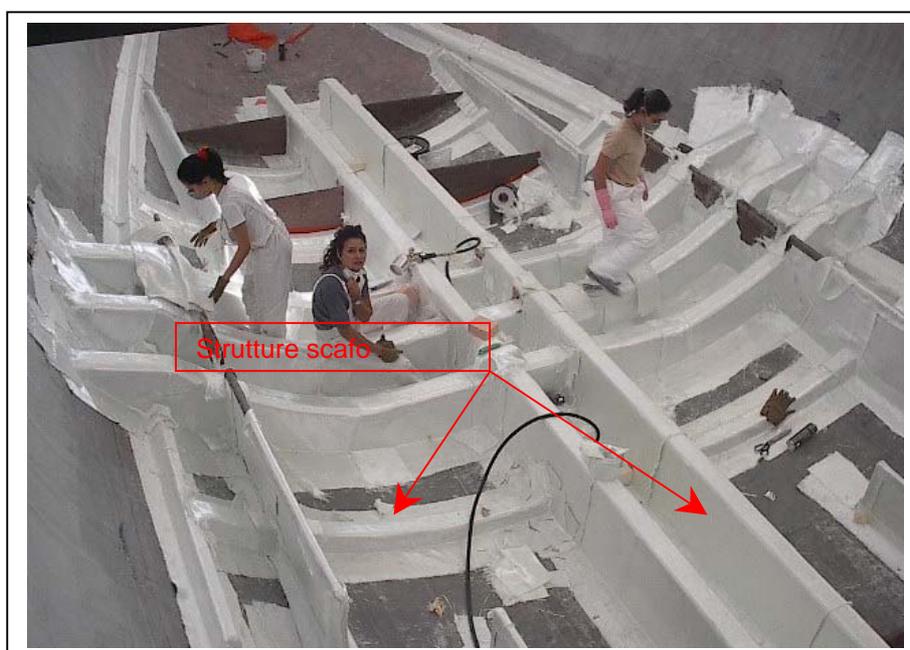


FIGURA 21 – REALIZZAZIONE DELLE STRUTTURE

Foto riprodotta per gentile concessione di A.C.T.



4.8 – STESURA DEI MATERIALI NECESSARI ALL'INFUSIONE

Una volta posizionati sullo stampo i materiali che andranno a costituire il manufatto, che ricordiamo sono tutti stesi a secco, bisogna procedere al posizionamento dei materiali che rendono possibile l'infusione.

Fra questi un ruolo fondamentale rivestono i **canali di infusione** della resina i quali, in generale, sono costituiti da tubi che partono dai serbatoi di stoccaggio e arrivano al manufatto.

I canali di infusione sono dotati di efficaci rubinetti di arresto che vanno tenuti chiusi durante la realizzazione del “vuoto” e poi aperti per iniziare l'infusione della resina.

Una volta arrivati al manufatto questi tubi si collegano ad altri **canali di infusione** che passano al di sotto del sacco del vuoto a contatto con il materiale da impregnare.

Questi ultimi sono costituiti di solito da **tubi forati o da spirali di filo metallico, detti molle**, che consentono la fuoriuscita della resina ma sono in grado di contrastare l'azione meccanica di schiacciamento generata dal sacco del vuoto.

La differenza fondamentale fra i canali di infusione esterni al sacco del vuoto e quelli che scorrono al di sotto di esso è che i primi portano la resina dai contenitori allo stampo, e quindi sono costituiti da tubi chiusi, gli altri diffondono la resina su tutto il manufatto, e quindi sono costituiti da tubi forati o da molle, e corrono sopra la seconda pelle.

A questo punto però bisogna fare una distinzione fra i metodi che utilizzano **anime con incisioni superficiali e forate**, che favoriscono la diffusione della resina, e quelli che utilizzano **anime solo forate**, affidando la distribuzione della resina solo a canali esterni e ad una rete distesa su tutta la superficie..

Nel primo caso siamo in presenza di un particolare tipo di anima che, oltre ad essere forata, presenta una serie di incisioni ortogonali fra loro che facilitano il moto del flusso della resina, si hanno quindi solo pochi canali esterni che collegano ai serbatoi di stoccaggio della resina.



La distanza fra questi canali paralleli varia a seconda della complessità della geometria e dal tipo di anima ma in termini del tutto indicativi si può indicare da un minimo di 1 m ad un massimo di 3 metri.

Questo significa che nello spazio fra un canale di infusione e l'altro la resina viaggerà grazie alle incisioni presenti sulle facce dell'anima e passerà da una pelle all'altra grazie ai fori omogeneamente distribuiti.

Utilizzando questo sistema, dopo aver posizionato pelli ed anima, è necessario stendere solo i canali di infusione, il peel ply, il microforato, l'aeratore ed il sacco del vuoto, elementi questi di cui si parlerà fra poco.

Se invece non si utilizza un tipo di anima sagomata i canali di infusione sono costituiti da "molle" e devono essere posti a distanza minore e la resina si diffonderà grazie ad una rete a maglie grandi distesa sopra l'ultima pelle.

La distanza fra i canali dipende ancora una volta dagli elementi sopra citati ma in generale in questo caso si va da un minimo di 20 cm ad un massimo 1 m.

La rete usata in questo secondo caso ha lo scopo di mantenere uno strato minimo di aria fra i materiali da impregnare e gli strati superiori costituiti da peel ply, microforato, aeratore e sacco del vuoto.

In mancanza di questo strato il peel ply aderirebbe con forza alla seconda pelle per effetto della depressione e la resina non riuscirebbe ad allontanarsi di molto dai canali di diffusione lasciando vaste isole non impregnate.

Dopo aver steso la rete di canali di infusione bisogna approntare i **canali di aspirazione** che sono necessari alla creazione della depressione o "vuoto".

Questi canali hanno la funzione di aspirare l'aria dallo stampo essendo collegati ad una o più pompe del vuoto.

In generale sono realizzati da tubi che percorrono il perimetro dello stampo e quindi ne fuoriescono per raggiungere la stazione di pompaggio del vuoto.



Ovviamente la parte del percorso che corre sul perimetro dello stampo, e sotto il sacco del vuoto, presenta dei fori, anche di piccolo diametro, per permettono all'aria di entrare nel condotto.

La tubazione che invece va dallo stampo alla stazione di pompaggio del vuoto è chiaramente costituita da tubi perfettamente stagni.

E' anche possibile, per manufatti di modeste dimensioni e geometria semplice, ipotizzare una linea di aspirazione posizionata solo lungo un lato e una linea di infusione e distribuzione collocata sul lato opposto.

Seguendo questo schema si creerà un flusso di resina che parte dal canale di infusione e procede verso quello di aspirazione.

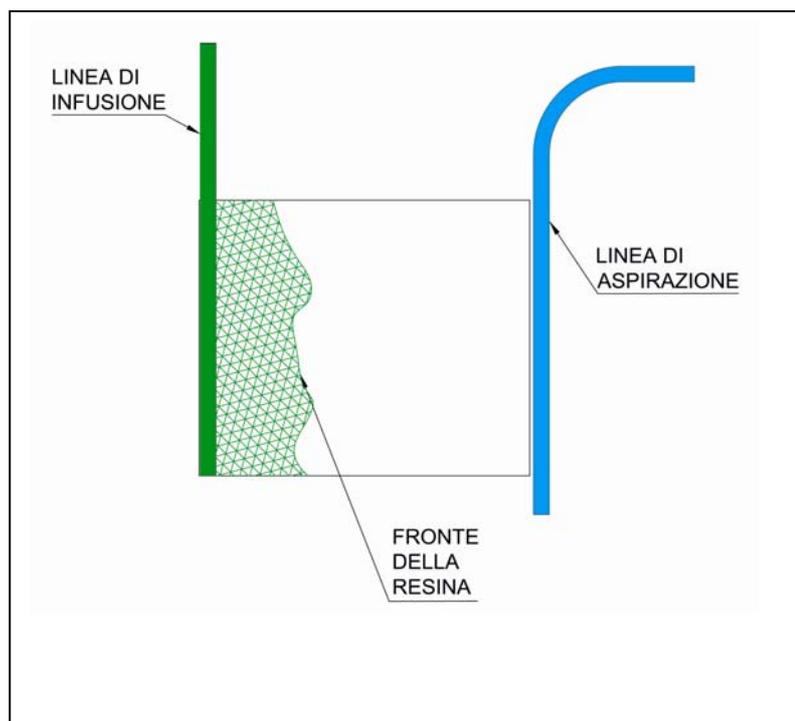


FIGURA 22 – LINEA DI INFUSIONE LATERALE

In casi più complessi si utilizza invece uno o più canali di infusione centrali e dei canali di aspirazione perimetrali.

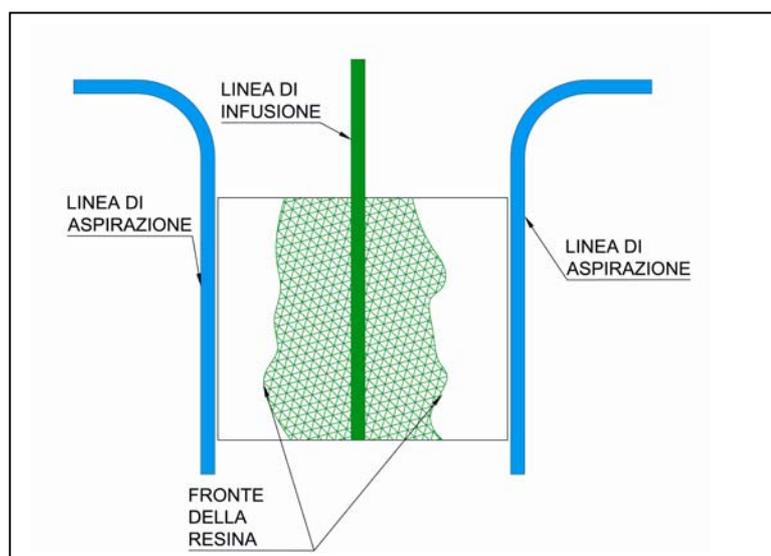


FIGURA 23 – LINEA DI INFUSIONE CENTRALE



Con questo schema la resina si diffonderà dai canali centrali verso il perimetro.

E' opportuno notare come i canali di aspirazione e quelli di infusione costituiscono sistemi omologhi entrambi con una parte di percorso chiusa e una parte permeabile ed entrambi destinati al trasporto dei fluidi necessari all'infusione, l'aria e la resina.

Ultimata questa fase è possibile distendere il **peel ply** che è costituito da una sottile pellicola di materiale plastico forata uniformemente su tutta la sua superficie.

La funzione del peel ply è quella di creare una barriera fra i laminati e gli strati superiori.

E' bene predisporre delle fasce di sovrapposizione di almeno 10 cm fra un telo e quello adiacente per evitare che eventuali slittamenti lascino scoperto il laminato.

Si raccomanda di usare solo peel ply appositamente realizzati per la laminazione sotto vuoto in grado cioè di assolvere ai compiti sopra elencati e di resistere al calore derivante dalla catalizzazione della resina.

Dopo il peel ply si passa alla stesura del **microforato** che consiste in uno strato molto sottile di materiale plastico con una foratura uniforme.

I fori presenti sono di piccolo diametro e consentono il passaggio dell'aria dagli strati inferiori a quelli superiori.

Anche in questo caso si raccomanda di usare solo prodotti specifici per l'infusione e di sovrapporre gli strati contigui di almeno 10 cm.

Sopra al microforato va steso l'**aeratore** che è formato da materiale sintetico soffice con spessore di qualche millimetro.

Questo strato ha una duplice funzione, la prima è di creare un cuscinetto soffice fra il sacco del vuoto e il peel ply che eviti lo schiacciamento di uno sull'altro e che consenta all'aria di muoversi liberamente per raggiungere i canali di aspirazione.

La seconda funzione è quella di assorbire la resina in eccesso proveniente dagli strati inferiori.

A fine infusione infatti, l'aeratore ha raccolto tutta la resina in eccesso che altrimenti sarebbe rimasta nel manufatto.



E' importante sottolineare come lo strato di aeratore deve essere steso sovrapponendo le pezze per evitare zone di vuoto e deve interessare anche i canali di aspirazione perimetrale.

La sovrapposizione fra pezze contigue deve, come per il peel ply, essere di circa 10 cm mentre i canali di aspirazione devono essere completamente coperti per evitare che durante la creazione del "vuoto" il sacco vi aderisca ostruendone i fori e bloccando il flusso dell'aria.

La fase successiva consiste appunto nella stesura del **sacco del vuoto** che viene posto al di sopra di tutti gli strati precedentemente descritti.

Come già ricordato il sacco del vuoto è costituito da una pellicola plastica impermeabile all'aria che viene stesa sopra lo stampo e fissata lungo tutto il suo perimetro per scongiurare l'ingresso dell'aria.

Per prima cosa il sacco del vuoto va quindi sagomato e cioè appoggiato sopra lo stampo e ritagliato lungo il perimetro.

Questa operazione, apparentemente banale, deve invece essere svolta con la massima cura per permettere il corretto svolgimento delle fasi successive.

In particolare va ricordato che quando sarà creato il "vuoto" il sacco aderirà con forza alla superficie dello stampo riproducendone la geometria.

Se si utilizza un sacco di superficie insufficiente esiste il pericolo che si creino delle tensioni e che il sacco si possa strappare oppure che rimangano degli spazi vuoti con conseguente creazione di accumuli di resina.

Al contrario se si utilizza un sacco troppo grande, una volta messo in depressione si formeranno delle pieghe e delle sacche richiamando resina ed impedendo una corretta infusione.

In particolare manufatti che presentano geometrie complesse o che vengono infusi insieme a strutture devono essere oggetto di particolari attenzioni durante la sagomatura del sacco del vuoto.



E' buona norma quindi far aderire manualmente il sacco a tutto il manufatto, comprese zone verticali o bassorilievi, e poi prevedere una fascia perimetrale come margine di sicurezza.

Durante tutte queste operazioni va fatta la massima attenzione a non danneggiare la pellicola che costituisce il sacco che perderebbe la sua integrità, si consiglia quindi di non camminarci sopra e di non appoggiarci materiali taglienti.

Infine bisogna fissare il perimetro del sacco alla flangia dello stampo all'esterno delle linee di aspirazione.

Come già ricordato gli stampi adatti all'infusione hanno una **flangia perimetrale** che consente questa operazione di sigillatura effettuata tramite un nastro **sigillante biadesivo** chiamato **tacky tape**.

La sigillatura del sacco deve avvenire realizzando in perimetro chiuso che ingloba i canali di aspirazione, e ovvianti quelli di infusione.

Dalla corretta esecuzione di questa operazione dipende l'entità della depressione che si riuscirà a realizzare.

Il nastro sigillante presenta due facce adesive protette con due pellicole che vanno rimosse, una faccia va poi fatta aderire al sacco e l'altra alla flangia dello stampo, va poi esercitata una certa pressione per permettere la perfetta adesione.

E' importante che le superfici di contatto siano perfettamente pulite e che l'operazione sia svolta in assenza di polveri o altri elementi in sospensione nell'aria.

In alcuni casi particolarmente difficili è anche possibile realizzare due linee di incollaggio concentriche per creare una barriera più efficace.

Punti particolarmente critici sono l'ingresso dei canali di infusione e l'uscita dei canali di aspirazione.

Questi punti devono essere sigillati perfettamente realizzando con il nastro biadesivo degli anelli intorno ai tubi e facendogli poi aderire il sacco.

Solitamente il sacco del vuoto è costituito da un unico telo le cui dimensioni commerciali arrivano fino a 50 x 15 m circa, nel caso non fosse sufficiente è possibile unirne due con lo stesso nastro sopra menzionato.



Questa operazione è comunque da sconsigliare in tutti i casi in cui si può evitare in quanto ogni giunzione rappresenta un potenziale punto di ingresso dell'aria e quindi perdita di pressione.

Vanno inoltre utilizzati solo materiali espressamente dedicati alla laminazione, resistenti quindi al calore sviluppato dalla reazione di catalizzazione della resina che tende a dilatare il sacco e a diminuirne le caratteristiche meccaniche.

Soprattutto se si prevede di realizzare una sessione di cura del laminato, scaldandolo per migliorare o completare la catalizzazione della resina è fondamentale utilizzare specifici sacchi del vuoto realizzati in materiale termoresistente.



4.9 – REALIZZAZIONE DEL “VUOTO” E INFUSIONE DELLA RESINA

Quando le operazioni precedenti sono state completate correttamente si può procedere con le ultime due fasi che sono la **realizzazione del “vuoto”** e l'**infusione della resina**.

Per quanto riguarda la prima fase occorre accendere la stazione di pompaggio costituita da una o più pompe per far defluire l'aria presente fra il sacco del vuoto e lo stampo.

Questa operazione va eseguita con i rubinetti di arresto dei canali di infusione chiusi.

Il tempo che occorre per arrivare alla massima depressione che il sistema può creare varia in funzione delle dimensioni del manufatto e del piano di laminazione.

Durante la creazione del “vuoto” è necessario controllare che non ci siano falle e che la tenuta sia soddisfacente.

Per fare ciò esistono sostanzialmente due metodi, il primo consiste nel versare del liquido schiumoso sui punti critici, se si è in presenza di passaggio di aria si creeranno dei vortici e quindi delle bolle.

Questo metodo ha l'inconveniente che una volta localizzata la falla bisogna pulire ed asciugare perfettamente la zona per poterla riparare con il biadesivo, inoltre si può usare solo per poche zone critiche sospettate di non essere stagne.

Il secondo metodo consiste nell'adottare degli strumenti, comunemente chiamati annuatori o sniffer, costituiti da microfoni particolarmente sensibili e da cuffie di ascolto.

Ogni passaggio di aria produce un sibilo acuto che però in generale non è udibile dall'orecchio umano perché è formato da suoni ad alta frequenza.

I microfoni riescono invece a captare questi sibili e li amplificano trasmettendoli attraverso le cuffie all'operatore che può quindi localizzare la falla.

Perché questa operazione abbia successo occorre essere in presenza di un ambiente silenzioso senza rumori di fondo che potrebbero interferire con l'ascolto.

Quando la depressione è al massimo il sistema è pronto per iniziare l'infusione vera e propria che però non può iniziare immediatamente.

Bisogna mantenere il “vuoto” al suo massimo valore per un tempo sufficientemente lungo per assicurarsi che il sistema sia stabile.



Come già sottolineato in precedenza il **processo di infusione non è reversibile** e quindi una volta iniziato non può essere interrotto, per questo bisogna essere assolutamente sicuri di avere una depressione sufficiente e di poterla tenere per tutto il tempo necessario. La depressione si misura con uno o più manometri che hanno una parte superiore dotata di indicatore e scala graduata e una parte inferiore dotata di ventosa per aderire al sacco del vuoto.

Realizzando un forellino sul sacco si può procedere a collocarvi il manometro sopra avendo cura far ben aderire la ventosa, la depressione stessa poi consente di mantenere il tutto in posizione.

Si consiglia di posizionare il manometro, detto anche vacuometro, nella posizione più svantaggiata e cioè al centro del manufatto e lontano dalle linee di aspirazione, in caso di manufatti estesi è consigliato l'uso di più manometri.

Non è possibile indicare un livello di depressione valido per ogni tipo di metodo e di manufatto, si può tuttavia considerare 0,55 bar il valore ottimale e 0,4 il valore minimo sotto il quale si sconsiglia vivamente di iniziare il processo.

Va controllato il livello del "vuoto" e registrato il livello massimo ottenuto con il sistema ancora a secco, da quel momento, prima di passare all'infusione, devono passare almeno 15 minuti, per infusioni di dimensioni modeste e 30 minuti per infusioni di dimensioni maggiori senza registrare perdite di pressione significative.

Questo tempo, che può sembrare accettabile, è invece necessario ad essere certi del risultato finale, il sistema infatti si presenta sempre efficiente all'inizio e fa emergere i problemi solo in un secondo tempo.

Ciò è dovuto in generale ad un tempo di assestamento dei materiali e di deformazione progressiva del sacco del vuoto e del nastro sigillante.

Si fa notare che una perdita di pressione a materiali ancora secchi non comporta gravi problemi perché, una volta trovata la causa, si può riprendere il processo e realizzare l'infusione.

Se invece si è già iniziata l'infusione e si incorre in una perdita del "vuoto" il flusso della resina si arresterà prima di aver impregnato tutte le zone e si avrà la perdita di tutto il materiale fin qui impiegato.



Trascorso questo tempo in cui si è riusciti a mantenere il “vuoto” al suo valore massimo si può affrontare finalmente la fase finale dell’infusione vera e propria.

Bisogna innanzi tutto versare la resina nei contenitori e poi aggiungere il catalizzatore e gli eventuali aditivi quali acceleranti o ritardanti.

La quantità di resina da predisporre nei serbatoi dipende dalle dimensioni del manufatto e dal piano di laminazione ma va stimata con attenzione.

Se la resina dovesse terminare a processo non ultimato si incorrerebbe in gravi problemi che porterebbero alla perdita di tutti i materiali come precedentemente esposto per il caso della perdita del “vuoto”.

Per stimare la resina necessaria ad una sessione di infusione va calcolato il peso totale dei tessuti da impregnare e il corrispettivo di resina in base al Gc programmato.

A questa resina va aggiunta quella assorbita dall’anima, che in generale si calcola a metro quadro, più quella necessaria al sistema, cioè impiegata per riempire le linee di infusione.

Ricordiamo brevemente che la resina unita al catalizzatore inizia il processo di solidificazione che può terminare in un tempo variabile dipendente essenzialmente dal tipo di resina e dalla temperatura dell’aria.

A tal proposito si ricorda che l’intervallo di temperatura entro il quale si può eseguire l’infusione va da 16° ai 32°.

Il tempo che impiega la resina a solidificare deve essere superiore a quello di infusione cioè al tempo necessario ad impregnare tutte le zone, più un sufficiente margine di sicurezza.

Ovviamente il tempo di infusione dipende dalla velocità di propagazione della resina, questa velocità è influenzata da molti fattori fra i quali: la temperatura ambientale, la viscosità della resina, i tessuti di rinforzo e l’anima utilizzati, la disposizione dei canali di infusione, l’entità della depressione o “vuoto” e la complessità della superficie.

Non è possibile quindi indicare una velocità lineare standard a cui riferirsi, soltanto l’esperienza e la raccolta sistematica dei dati può costituire un valido supporto per prevedere correttamente i tempi di infusione a priori.



Si può tuttavia, a puro titolo di esempio, riportare che in un pannello piano, alla temperatura di 20° C e con una depressione di 0,5 bar la velocità lineare della resina si attesta fra 0,3 e 0,5 metri al minuto.

Ciò significa che, una volta riempiti i canali di diffusione, la resina riesce a percorrere mediamente dai 30 agli 50 cm in un minuto.

Per superfici complesse questa velocità decresce mentre all'aumentare della temperatura dell'aria la velocità aumenta considerevolmente raddoppiando ogni 10°C di incremento.

Si ricorda di prevedere un ampio margine di sicurezza fra il tempo stimato di infusione e quello di catalizzazione della resina anche per affrontare imprevisti quali sbalzi di temperatura o cali di pressione.

Per questo spesso si usano ritardanti o acceleranti che modificano il tempo di indurimento e lo adattano alle esigenze dell'infusione.

Le resine da impiegare nell'infusione sono solo quelle realizzate appositamente per questo utilizzo e che quindi presentano le giuste caratteristiche fisico-meccaniche fra le quali ricordiamo, ad esempio, la viscosità, elemento fondamentale in questo processo.

Appena aggiunto il catalizzatore si devono aprire i rubinetti di arresto delle linee di infusione per permettere alla resina di iniziare ad affluire allo stampo.

Questo istante va annotato con precisione, segnando l'ora di inizio dell'infusione e la pressione in quel momento.

Le linee di infusione, come detto, collegano i serbatoi di stoccaggio della resina allo stampo, va evidenziato come queste linee, costituite da tubi, devono essere fissate in maniera sicura per evitare che si muovano sotto l'effetto del "vuoto".

Una oscillazione di queste linee potrebbe allentare in alcuni punti la tenuta del nastro sigillante o potrebbe far fuoriuscire la testa dei tubi dai serbatoi della resina aspirando aria.

A questo proposito si ricorda che sarebbe opportuno adottare serbatoi chiusi con coperchio stagno e ingressi per i tubi.

Appena la resina inizierà ad infondere i tessuti si noterà il suo passaggio denotato da un colore più scuro, perfettamente visibile sotto il sacco del vuoto.

Si può quindi osservare il fronte della resina che si estende partendo dalle linee di infusione e muovendosi verso le linee di aspirazione.



La **velocità del fronte della resina** è un altro parametro da monitorare ed annotare con cura.

Per fare ciò è sufficiente segnare la posizione del fronte della resina ad intervalli di tempo regolari, ad esempio un minuto, apponendo un segno con un pennarello sul sacco del vuoto nel punto in cui il fronte è in un istante e nel punto che ha raggiunto dopo un minuto. Misurando la distanza lineare in metri fra i due riferimenti si avrà la distanza percorsa dalla resina in un minuto e quindi la velocità in metri al minuto.

Questa semplice operazione si deve compiere frequentemente durante l'infusione per monitorare e registrare le variazioni di velocità e prevederne la tendenza.

In taluni casi le linee di infusione sono presenti in numero elevato e quindi si preferisce non aprirle tutte contemporaneamente, si aprono prima quelle lontano dalle linee di aspirazione e poi, quando la resina ha impregnato tutte le zone di competenza, si aprono le altre in successione, agevolando il percorso di diffusione della resina che si è programmato.

Quando il processo di infusione è avviato si noterà un calo della depressione che è fisiologico se rientra in determinati limiti.

Il calo è dovuto all'ostacolo che i materiali impregnati dalla resina offrono al deflusso dell'aria e alla perdita di efficienza del sistema.

Ricordiamo che la stazione del vuoto deve sempre essere tenuta accesa durante l'infusione.

Analizzando i laminati in sezione si può notare che il fronte della resina procede in maniera differenziata fra prima pelle e seconda pelle, appare cioè evidente che le parti a contatto con lo stampo si impregnano dopo quelle che si trovano lontano da esso.

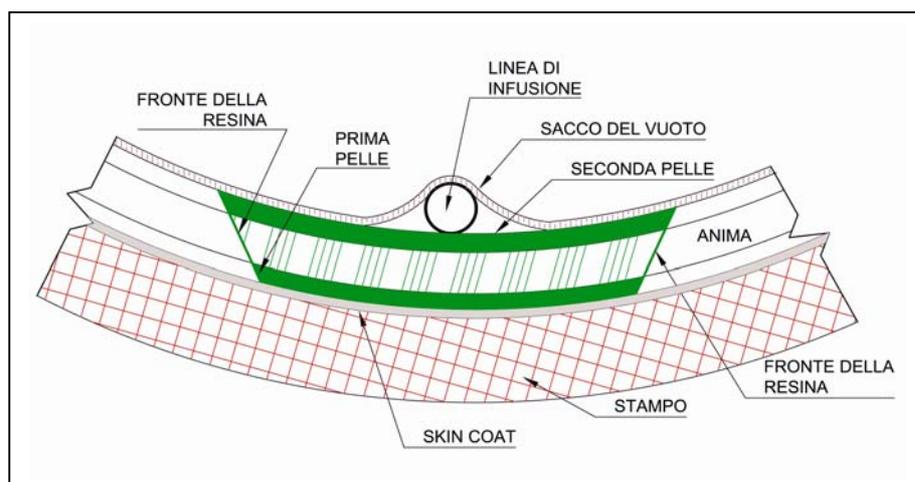


FIGURA 24 – FRONTE DELLA RESINA

La velocità di diffusione della resina dipende da molti fattori quali il tipo di anima, l'entità del "vuoto", il tipo di resina, la temperatura, la geometria del manufatto e il posizionamento delle linee di infusione.

E' bene comunque avere una raccolta di dati riguardanti la velocità della resina, temperatura e il valore del "vuoto" in quel momento per creare un archivio di esperienze fondamentale per affrontare infusioni sempre più complesse.

L'infusione si può dire conclusa quando tutte le zone sono state raggiunte dalla resina, a questo punto si noterà che la resina comincia ad entrare nelle linee di aspirazione e contemporaneamente il valore della depressione subisce un calo repentino.

Si può dire quindi che l'operazione ha avuto successo e si può procedere allo spegnimento della stazione del vuoto che a questo punto non ha più efficacia.

Da questo momento in poi la resina finirà di catalizzare passando allo stato solido ed indurendosi, per questo motivo non è possibile scoprire subito il laminato togliendo gli strati sovrastanti.

Bisogna attendere dalle 6 alle 24 ore per poter effettuare questa operazione per essere certi che il processo di indurimento sia terminato ed i laminati siano pronti per essere scoperti.

Si ricorda che peel ply, microforato, aeratore, sacco del vuoto, linee di infusione e di aspirazione devono essere sostituite ad ogni infusione e a processo terminato devono essere smaltite secondo le vigenti normative in quanto sono rifiuti inquinanti.

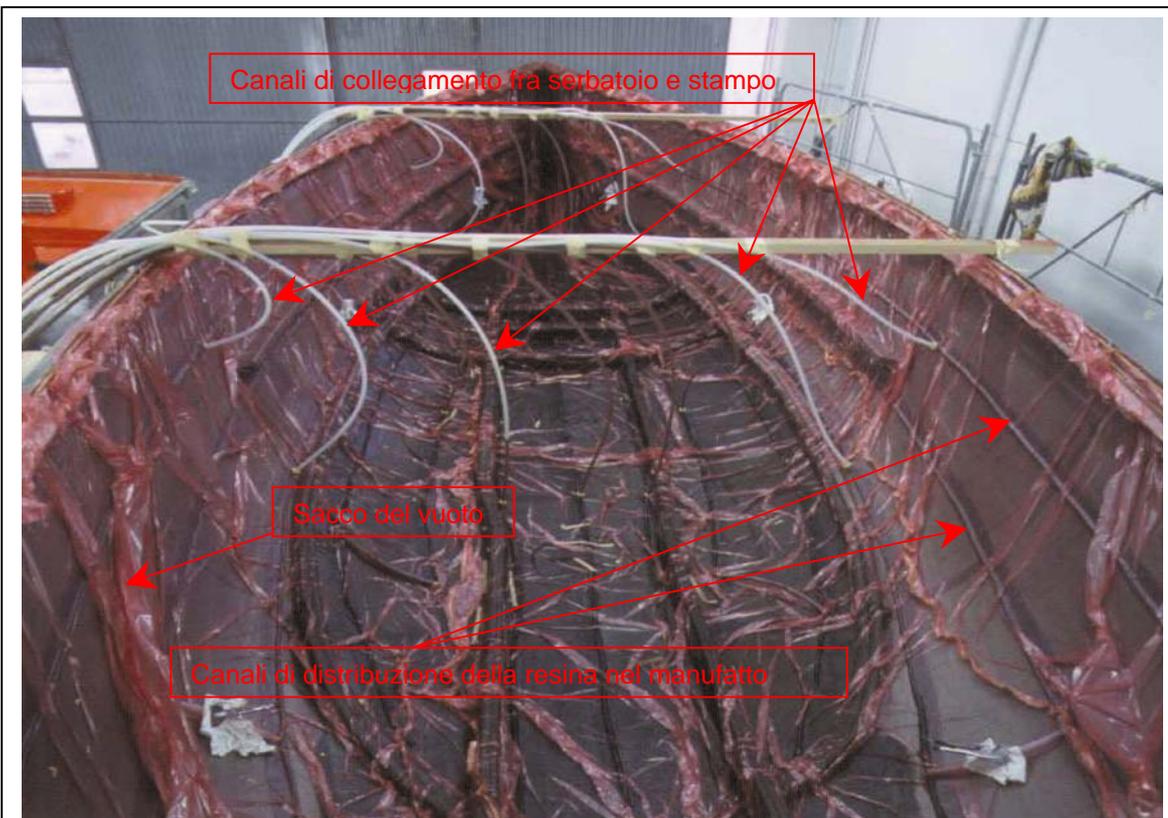


FIGURA 25 – INFUSIONE DI UNO SCAFO

Foto riprodotta per gentile concessione di A.C.T.



FIGURA 26 – INFUSIONE DI UNA PARATIA

Foto riprodotte per gentile concessione di A.C.T.



4.10 – PANNELLO PER ESEGUIRE PROVE SUI LAMINATI

Quando si realizzano manufatti di notevole importanza, ad esempio scafi o coperte, è necessario realizzare un pannello da destinare alle prove sui laminati.

Questo pannello, chiamato test panel, consiste in una zona di laminato che deve essere sottoposto allo stesso ciclo di produzione del manufatto per assumerne le stesse caratteristiche.

Le dimensioni del pannello devono essere di almeno 50 x 50 cm, ma per manufatti di grandi dimensioni si consiglia un formato di 100 x 100 cm.

Il pannello deve essere realizzato contestualmente al manufatto ed infuso insieme ad esso nelle stesse condizioni ambientali, non sono ammessi pannelli realizzati in tempi diversi o su altri stampi.

Se la laminazione del manufatto non è omogenea e presenta dei rinforzi locali, il pannello di prova deve essere realizzato con una laminazione rappresentativa del manufatto, cioè quella più diffusa.

E' anche possibile realizzare più pannelli di prova con laminazioni differenti nei casi in cui ci siano più schemi di laminazione largamente presenti nel manufatto.

Nel caso in cui sia prevista l'asportazione di parti del manufatto durante il processo produttivo dell'imbarcazione, ad esempio vano per elica di prua o aperture per finestrate, è possibile utilizzare quelle parti di laminato per eseguire i test, purché rispettino le condizioni sopra elencate.

Nel caso in cui non ci sia questa possibilità è necessario aggiungere delle zone, di solito perimetrali, sufficientemente grandi per ospitare il pannello.

Se si sta realizzando un manufatto su una superficie piana, ad esempio una paratia, è possibile prolungarla e poi tagliare la zona in eccedenza per eseguire i test.

I test che si possono eseguire sul laminato sono i seguenti:

- Rapporto rinforzo/resina nei laminati (Gc)



- Tensione di rottura delle pelli a trazione
- Tensione di rottura delle pelli a compressione
- Tensione di rottura delle pelli a flessione
- Tensione di rottura a taglio interlaminare delle pelli e fra pelli ed anima
- Tensione di rottura a taglio dell'anima
- Contenuto di resina nell'anima

Le prove sui laminati, se danno esito positivo, sono un elemento di grande importanza per il produttore che è invitato a conservarle in archivio.

Ricordiamo che le prove sui laminati vanno eseguite da laboratori certificati e seguendo la normativa di riferimento in materia.



5 – I DIVERSI METODI DI INFUSIONE

La produzione di compositi con il metodo dell'infusione è una tecnica innovativa che si è affacciata nel mondo della nautica solo recentemente ed è in continua evoluzione.

Esistono diversi metodi di infusione che si differenziano per alcuni aspetti tecnici anche se tutti hanno in comune gran parte del procedimento.

Alcune tecniche sono poi protette da brevetti e sono commercializzate con marchi particolari mentre altre sono di libero utilizzo.

In generale tutti i metodi consentono di stendere i materiali a secco, cioè senza impregnarli con la resina, agevolando enormemente questa operazione.

Il taglio e la posa dei tessuti di rinforzo e dell'anima sono operazioni che possono essere eseguite con tempi dilatati, con una precisione elevata ed in un ambiente salubre per gli operatori.

Comune a tutti i metodi è anche la creazione del "vuoto" cioè della depressione all'interno dello stampo in grado di richiamare la resina che si diffonde al suo interno impregnando i tessuti.

La realizzazione del vuoto è ottenuta attraverso una stazione del vuoto costituita da una o più pompe che aspirano aria, e grazie al sacco del vuoto che viene efficacemente collegato allo stampo.

Bisogna tuttavia ricordare che alcuni metodi usano in alternativa un controstampo o una membrana semirigida come sarà descritto in seguito.

Un altro elemento di differenziazione è il veicolo di propagazione della resina, attratta dal "vuoto", all'interno dei laminati i quali oppongono resistenza al suo passaggio.

Per risolvere questo problema sono state escogitate diverse soluzioni che saranno di seguito analizzate e che consentono di ottenere distanze e velocità di propagazione della resina diverse.



5.1 – INFUSIONE CON L'USO DI RETE A MAGLIE LARGHE

In questo metodo la resina si diffonde nei laminati attraverso delle linee di infusione che passano al di sopra di tutti i materiali stesi sullo stampo e sotto il peel ply.

Queste linee di infusione partono dai serbatoi dove è stoccata la resina e arrivano allo stampo, questo tratto è costituito in generale da tubi realizzati in materiale plastico.

A questo punto le linee di infusione devono però entrare all'interno del sacco del vuoto e permettere poi il rilascio della resina.

Questa fase è assicurata da altre linee di infusione, che scorrono al di sotto del peel ply, e che sono costituite da tubi forati o più spesso da spirali di filo metallico chiamate molle.

In questo modo la resina è in grado di diffondersi seguendo dapprima un percorso lineare e poi allargandosi lateralmente a questo.

Le connessioni fra le linee esterne e quelle interne sono assicurate da manicotti in plastica appositamente realizzati per questo scopo.

La resina quindi una volta uscita dalla linea di infusione deve diffondersi per impregnare tutto il manufatto, questa fase è agevolata da una rete a maglie larghe che viene posata al di sopra della seconda pelle, e sotto del peel ply, e che avvolge anche le molle sopra citate.

La funzione di questa rete è di migliorare la capacità di diffusione della resina che altrimenti sarebbe schiacciata fra il peel ply e la seconda pelle sotto l'azione del sacco del vuoto.

La rete, tipica di questo particolare metodo di infusione, crea dei piccoli spazi vuoti attraverso i quali la resina si muove passando da una maglia della rete alla successiva.

La distanza massima che la resina riesce a percorrere con questa tecnica è di circa 1 metro, in infusioni di manufatti piccoli su stampi piatti, più comunemente invece le linee di infusione sono poste a circa 50 cm l'una dall'altra.

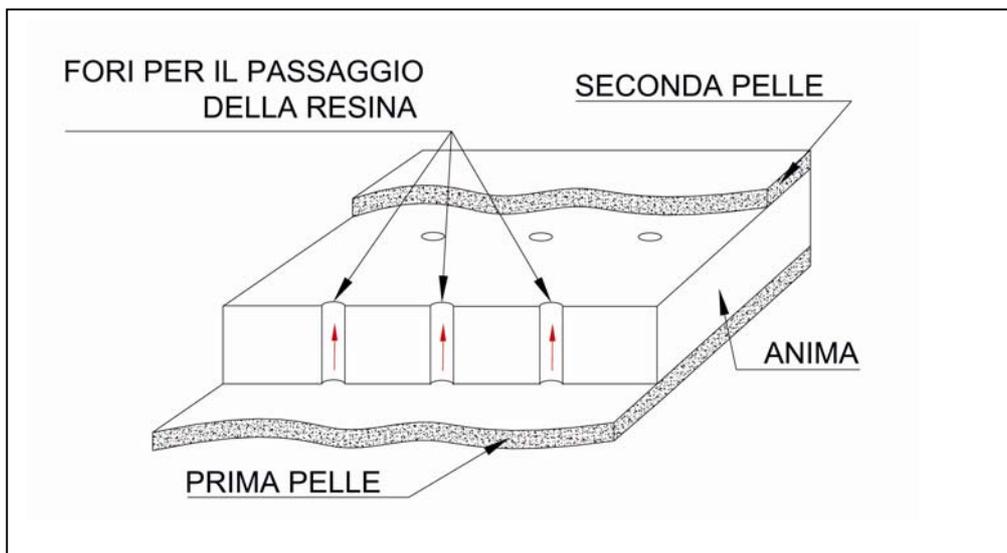


FIGURA 27 – ANIMA CON FORI PER IL PASSAGGIO DELLA RESINA



5.2 - INFUSIONE CON L'UTILIZZO DI ANIME SAGOMATE

Con questa particolare tecnica di infusione si usano anime che presentano delle incisioni sulle loro facce o dei canali interni destinati allo scorrimento della resina.

Naturalmente sono presenti anche i fori che attraversano l'anima e che abbiamo visto ricoprono un ruolo indispensabile.

Nel caso di anime con incisioni sulle facce siamo in presenza di veri e propri canali superficiali disposti sia nella direzione longitudinale che in quella trasversale in modo da formare una quadrettatura.

I canali che corrono in una direzione si incrociano con quelli che corrono in direzione trasversale e nel punto di intersezione sono posizionati i fori che attraversano l'anima.

La distanza fra le incisioni dipende dallo spessore dell'anima e dalle caratteristiche del manufatto che si intende realizzare.

In questo caso quindi, la resina riesce a percorrere delle distanze maggiori e le linee di infusione possono essere posizionati a distanza maggiore ma comunque mai superiore ai 3 metri.

In alternativa alcune anime presentano dei canali a sezione circolare ricavati all'interno del proprio spessore che hanno la stessa funzione delle incisioni ma permettono di far scorrere la resina all'interno dell'anima e non lungo le sue facce.

Questi metodi hanno il pregio di consentire una maggiore facilità di scorrimento della resina e quindi una maggiore distanza fra le linee di infusione.

Si ha inoltre il vantaggio di non dover utilizzare la rete a maglie larghe né i canali costituiti da molle.

A processo ultimato però il peso del manufatto sarà gravato anche della resina rimasta nei canali presenti nell'anima, che siano esterni od interni.

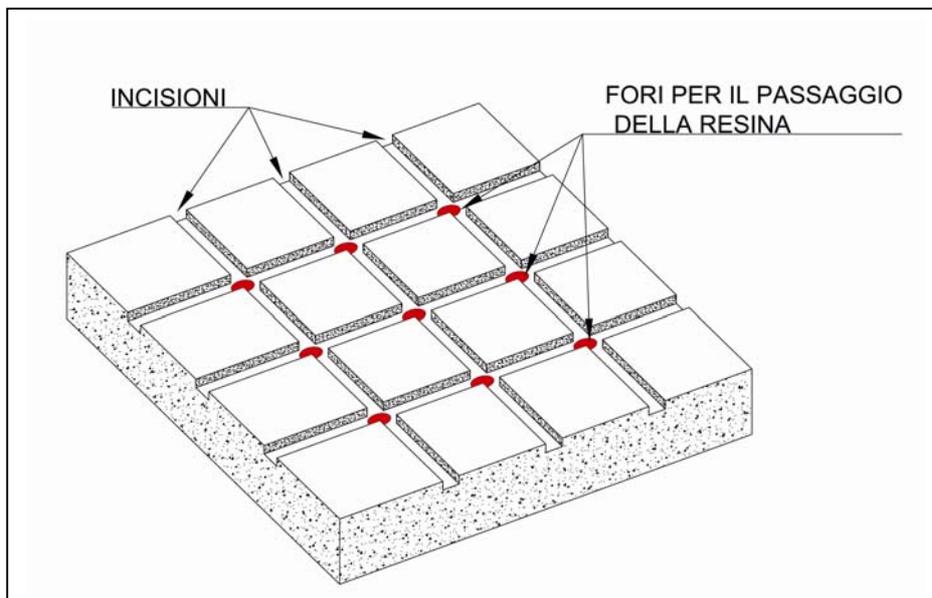


FIGURA 28 - ANIMA CON INCISIONI SULLA SUPERFICIE

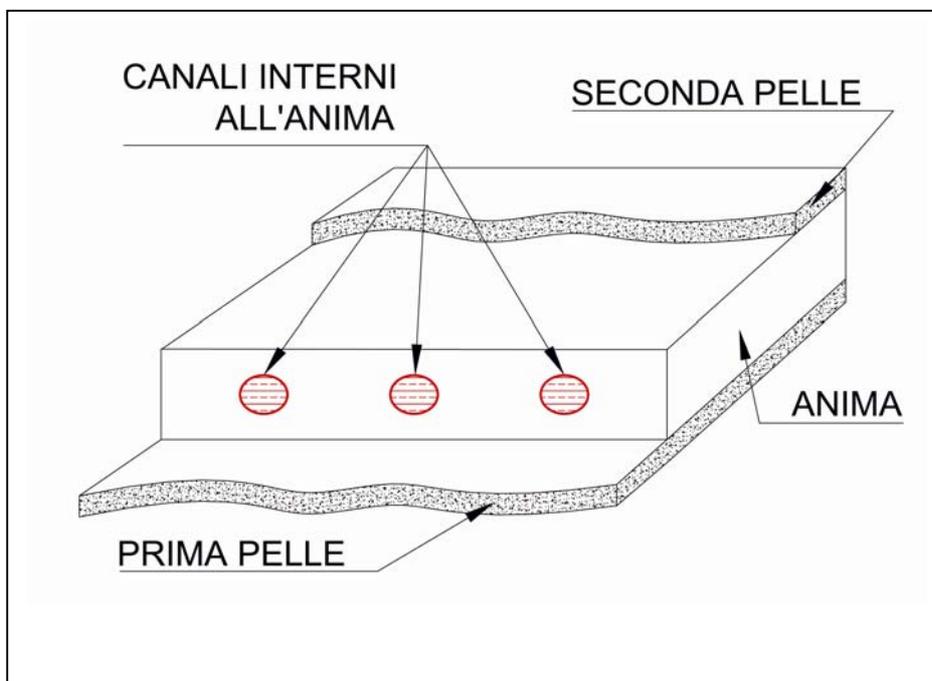


FIGURA 29 - ANIMA CON CANALI INTERNI



5.3 – INFUSIONE CON STAMPO E CONTROSTAMPO

Questa tecnica è in generale utilizzata per realizzare manufatti in composito, di dimensioni contenute, che necessitano di una buona finitura superficiale su entrambe le facce.

Solitamente infatti, l'uso del sacco del vuoto accoppiato ad uno stampo in vetroresina crea dei compositi di buona finitura superficiale sul lato che è a contatto con lo stampo, soprattutto se si è usato un buon skin coat.

Sul lato che è a contatto con il peel ply, e quindi con il sacco del vuoto, il laminato invece presenta spesso delle imperfezioni dovute alle pieghe che si vengono a formare sul sacco e al contatto con le linee di infusione.

Questa superficie è di solito la parte interna dello scafo o la superficie inferiore di una coperta e quindi non necessita di un grado di finitura elevato.

Nel caso però in cui si voglia procedere alla realizzazione di un oggetto con tutte le superfici rifinite si può utilizzare l'infusione con stampo e controstampo.

Invece di utilizzare il sacco del vuoto per creare la depressione necessaria, si usa un secondo stampo avente una geometria che permette un perfetto accoppiamento con lo stampo principale.

Anche in questo caso, stampo e controstampo hanno una flangia perimetrale che permette la sigillatura del sistema e quindi la creazione del "vuoto".

Il laminato sarà quindi compresso fra due superfici rigide ed entrambe le sue facce avranno una finitura di ottimo livello.

Appare subito chiaro che non è possibile utilizzare linee di infusione che corrono sopra il laminato perché verrebbero schiacciate dal controstampo.

Si utilizzano quindi solo linee di infusione che arrivano alla flangia di accoppiamento e da qui la resina deve diffondersi grazie al solo effetto della depressione.

E' infatti possibile realizzare solo manufatti di piccole dimensioni con questo particolare metodo di infusione che inoltre, necessitando di un controstampo, risulta più oneroso dei metodi precedenti.

E' quindi utilizzato quasi esclusivamente per oggetti da produrre in grande serie.



In alternativa si può utilizzare un controstampo semirigido costituito da una membrana riutilizzabile che rappresenta un compromesso fra il sacco del vuoto e il controstampo rigido.

Questa membrana però è utilizzabile su un solo stampo e non è adattabile a più geometrie, come il sacco del vuoto, ma ha il vantaggio di essere riutilizzabile al contrario del sacco che è monouso.



6 - AVVERTENZE

Il processo di infusione è, in generale, a basso impatto ambientale in quanto quasi tutte le operazioni vengono eseguite senza l'uso della resina che viene aggiunta solo in seguito.

Vanno tuttavia adottate alcune precauzioni che sono di fondamentale importanza per la salute degli operatori e per la tutela dell'ambiente.

A questo proposito si raccomanda di ottemperare alle vigenti normative in materia di sicurezza sul lavoro e di tutela ambientale e di osservare le avvertenze descritte nei paragrafi seguenti.



6.1 – TUTELA DELLA SALUTE DEGLI OPERATORI

Gli operatori che sono impiegati nella laminazione di manufatti in composito sono in generale a contatto con la resina necessaria ad impregnare i rinforzi.

Nella tecnica dell'infusione invece gli operatori svolgono tutte le fasi di stesura dei materiali a secco, cioè senza il coinvolgimento della resina.

Questo elemento costituisce un importante fattore per la salute degli operatori in quanto la resina può costituire un pericolo se viene in contatto con la pelle o con organi sensibili come gli occhi.

Inoltre la resina esala delle sostanze volati come lo stirene che se inalato può essere causa di disturbi per l'organismo umano.

Tuttavia è importante ricordare alcune precauzioni di estrema importanza.

La resina, il catalizzatore e gli eventuali additivi devono essere stoccati in luoghi sicuri ed asciutti e possono essere maneggiati solo da personale qualificato al momento di versarli nei contenitori per procedere all'infusione.

Tale operazione deve essere svolta con la massima cautela per evitare di versare la resina fuori dai contenitori o coinvolgere gli operatori presenti inoltre durante il versamento si liberano in aria lo stirene ed altre sostanze volatili.

Tutti gli operatori devono quindi indossare tute protettive, otoprotettori, guanti in materiale plastico e maschera filtrante.

Gli ambienti in cui si svolge l'infusione devono essere adeguatamente ventilati, asciutti, puliti e quindi senza residui di lavorazione.

E' assolutamente vietato inoltre, stoccare materiale infiammabile nello stesso locale dove si svolge l'infusione o in locali attigui direttamente collegati.

Particolare attenzione va rivolta durante la fase di infusione ad eventuali picchi esotermici che si possono verificare a causa di accumuli di resina e di temperature ambientali elevate.

Per questo motivo è importante rispettare l'intervallo di temperatura di 16 – 32° C entro il quale si può svolgere l'infusione.



6.2 – PRECAUZIONI PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE

I materiali necessari all'infusione come sacco del vuoto, peel ply, microforato, aeratore, canali di aspirazione e di infusione sono monouso e quindi devono essere smaltiti ad ogni laminazione.

Questi materiali sono inquinanti in quanto difficilmente biodegradabili, si raccomanda quindi di smaltirli attraverso le strutture territoriali preposte e ottemperando alle vigenti norme.

Anche le resine utilizzate sono fortemente inquinanti e quindi i residui non utilizzati nell'infusione devono essere smaltiti con particolari procedure individuate dalla normativa.

Americas**Fort Lauderdale**

13450 West Sunrise blvd
suite 350
33323 Fort Lauderdale, FL
U.S.A.
ph. +1 954 8380408
fax +1 954 8380409
fortlauderdale.office@rina.org

Rio de Janeiro

Av. Rio Branco, 50 - V Andar
20090-002 Rio de Janeiro
BRAZIL
ph. +55 21 2518 7545
fax +55 21 2263 6126
rina@uol.com.br

Buenos Aires

Av. Alicia Moreau de Justo 2030
1st Floor - Office 119
C1107AFP Buenos Aires
ARGENTINA
ph. +54 11 43148666
fax +54 11 43148666
buenosaires.office@rina.org

NW Europe**Helsinki**

Myrmaentie 2b
01600 Vantaa
FINLAND
ph. +358 9 5860220
fax +358 9 58602244
helsinki.office@rina.org

Rotterdam

Boompjes 545
3011 XZ Rotterdam
NETHERLANDS
ph. +31 10 4147444
fax +31 10 4112705
rotterdam.office@rina.org

Bremen

Im Uhlenbrook 35
28865 Lilienthal
GERMANY
ph. +49 4298 419786
fax +49 4298 419791
lilienthal.office@rina.org

London

14 Waterloo Palace
SW1Y 4AR London
UNITED KINGDOM
ph. +44 20 78396099
fax +44 20 79302950
london.office@rina.org

Barcelona

Plaza Gala Placidia, 1-3
escala A, 14 1a
08006 Barcelona
SPAIN
ph. +34 93 2921190
fax +34 93 2921191
barcelona.office@rina.org

Malaga

Apartado Correos No. 529 AP
29080 Malaga
SPAIN
ph. +34 95 2217318
fax +34 95 2217318
diego.righi@rina.org

Vigo

Apartado Correos No. 2073
36028 Vigo
SPAIN
ph. pls. contact + 34 93 2921190
(Barcelona Office)
fax + 34 986 239842
vigo.office@rina.org

Lisboa

Escritório 201
Rua da Misericórdia, 76
1200-273 Lisboa
PORTUGAL
ph. +351 21 321 0170
fax +351 21 321 0171
mob. +351 91 876 92 16
lisbon.office@rina.org

**East Mediterranean,
Black Sea & MiddleEast****Piraeus**

47-49 Akti Miaouli str
185 36 Piraeus
GREECE
ph. +30 210 4292144
fax +30 210 4292950
piraeus.office@rina.org

Istanbul

Prf Dr. Ali Nihat Tarlan Cad.
Kutay Han no: 103 K: 6 D: 15-16
Bostanci - 34752 Istanbul
TURKEY
ph. +90 216 5731925
fax +90 216 5731945
istanbul.office@rina.org

Cairo

19, Gamal Elifasakhany Street
Almaza Area - Heliopolis
Cairo
EGYPT
Postal P.O. box 150
ph. +20 2 6900525
fax +20 2 6900515
cairo.office@rina.org

Suez

68 Gohar Al Kaeed St.
3rd floor
Suez
EGYPT
ph. +20 12 3511181
fax +20 12 7987367
Suez.Office@rina.org

Dubai

3rd floor Shipping Tower
Al Mina Road
DUBAI
UNITED ARAB EMIRATES
P.O. Box 62852
ph. +971 4 3935435
fax +971 4 3934075
dubai.office@rina.org

**China,
SE Asia & Australia****Busan**

16th Fl, Nat'l Pension Corp Bldg
1422-8, Yeonsan 5-Dong
Yeonje-Gu Busan
KOREA 611-830
ph. +82 51 4655412
fax +82 51 4655535
pusan.office@rina.org

Hong Kong

unit 1703, 17th floor
Golden Centre
188 Des Voeux Road Central
HONG KONG
ph. +852 28663433
fax +852 28612676
hongkong.office@rina.org

Shanghai

unit #05-03 (letter box n.48)
Office Complex, Equatorial
Shanghai
65 Yan'an Road West
200040 Shanghai
CHINA
ph. +86 21 62482604
fax +86 21 62482605
shanghai.office@rina.org

Guangzhou

Guangzhou Shipyard
International Co. Ltd.
40 Fang Cun Road South
Guangzhou 510382
CHINA
ph. +86 20 8189 1712
ext. 2800
fax +86 20 8156 1095
surveystation.guangzhou@rina.org

Mumbai

607-608 B Wing,
Everest Chambers,
Marol, Andheri-Kurla Road
Andheri (East)
Mumbai 400 059
INDIA
ph. +91 22 28525140
fax +91 22 28525139
bombay.office@rina.org

Singapore

10 Collyer Quay
#07-05 Ocean Building
049315 Singapore
ph. +65 65327737
fax +65 65323010
singapore.office@rina.org

Fremantle

6, Vancouver Drive
Canningvale, Perth
WA 6155 Fremantle
AUSTRALIA
ph. +61 8 94553960
fax +61 8 94554243
surveystation.fremantle@rina.org



RINA S.p.A. head office | via corsica, 12 | 16128 genova | italy
 ■ **technical function** | ph. +39 010.5385.338 | fax +39 010.5351.520 | yachts@rina.org
 ■ **business function** | ph. +39 010.5385.567 | fax +39 010.5351.170 | aby@rina.org
operational network | piazza municipio, 84 | 80133 napoli | italy
 ph. +39 081.5423.929 | fax +39 081.5423.946

