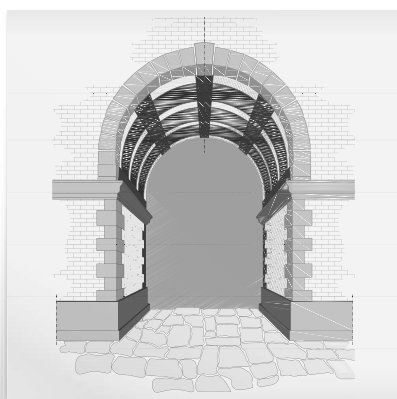


Alberto Pecchenino

LE VOLTE IN MURATURA

ANALISI, MODELLAZIONE E RINFORZO CON FRP

▪ I materiali compositi ▪ La muratura: archi e volte ▪ Modellazione FEM e comportamento strutturale ▪ Consolidamento e rinforzo con tecnica FRP (CNR-DT 200/2004) ▪ Esempi di calcolo ▪ Casi applicativi



SOFTWARE INCLUSO

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti), **Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



GRAFILL

Alberto Pecchenino

LE VOLTE IN MURATURA: ANALISI, MODELLAZIONE E RINFORZO CON FRP

ISBN 13 978-88-8207-794-5

EAN 9 788882 077945

Manuali, 181

Prima edizione, settembre 2015

Pecchenino, Alberto <1989>

Le volte in muratura: analisi, modellazione e rinforzo con FRP /
Alberto Pecchenino. – Palermo : Grafill, 2015.

(Manuali ; 181)

ISBN 978-88-8207-794-5

1. Volte in muratura.

690.143 CDD-22

SBN Pal0282284

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.
Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal.
Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

TESTO REALIZZATO
CON LA COLLABORAZIONE DI



BUILDING IMPROVING S.r.l.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di settembre 2015

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

INDICE

PREFAZIONE	p.	1
RINGRAZIAMENTI	"	2
1. I MATERIALI COMPOSITI	"	3
1.1. Generalità	"	3
1.2. Tecnologie di produzione	"	6
1.2.1. Lo stampaggio a contatto	"	7
1.2.2. La tecnologia a spruzzo	"	8
1.2.3. Bag Molding	"	8
1.2.4. RTM – Resin Transfer Molding	"	9
1.2.5. Il processo di pultrusione	"	10
1.3. Cenni di meccanica nei compositi	"	11
1.4. Le applicazioni in campo edile	"	14
1.4.1. Applicazione su struttura in c.a.	"	15
1.4.2. Applicazione su struttura in legno	"	17
1.4.3. Applicazione su strutture in muratura portante	"	18
2. LA MURATURA	"	20
2.1. Considerazioni generali e classificazione	"	21
2.2. Le malte	"	24
2.2.1. I leganti	"	25
2.2.2. Gli inerti	"	26
2.2.3. L'acqua	"	26
2.3. Le proprietà meccaniche delle murature	"	26
2.3.1. La compressione semplice	"	27
2.3.2. Il taglio	"	32
2.4. La normativa italiana	"	34
2.5. Le strutture in muratura	"	38
3. ARCHI IN MURATURA	"	39
3.1. Breve introduzione	"	39
3.2. Terminologia di base e tipologie	"	40
3.3. Evoluzione del calcolo dell'arco	"	44
3.3.1. Il problema del proporzionamento dei piedritti	"	44

3.3.2.	La stabilità dell'arco: curva delle pressioni	p.	51
3.3.3.	La forma dell'arco.....	"	53
3.4.	Approccio alla modellazione FEM.....	"	54
4.	VOLTE IN MURATURA	"	56
4.1.	Le tipologie: comportamento strutturale.....	"	58
4.1.1.	La volta a botte.....	"	58
4.1.2.	Le cupole.....	"	65
4.1.3.	La volta a crociera.....	"	69
4.1.4.	La volta a padiglione.....	"	73
4.2.	Analisi del quadro fessurativo	"	75
5.	IL CONSOLIDAMENTO		
	DELLE VOLTE IN MURATURA MEDIANTE FRP	"	81
5.1.	Le linee guida e i riferimenti normativi.....	"	82
5.1.1.	“Cosa fare” e “cosa non fare”	"	83
5.1.2.	Volte a semplice curvatura	"	83
5.1.3.	Volte a doppia curvatura.....	"	84
5.2.	Schemi tipologici dei rinforzi FRP su archi e volte.....	"	84
5.2.1.	La volta a botte.....	"	85
5.2.2.	La cupola.....	"	86
5.2.3.	La volta a crociera.....	"	87
5.2.4.	La volta a vela	"	89
5.2.5.	La volta a padiglione.....	"	90
5.2.6.	Connessioni e ancoraggi	"	92
5.2.7.	Esempio di rinforzo su una struttura voltata complessa	"	94
5.3.	Breve approccio alla modellazione FEM.....	"	97
5.4.	Metodi semplificati ed esempi di calcolo	"	99
5.4.1.	Esempio n. 1		
	<i>Rinforzo di una volta a crociera a pianta rettangolare</i>	"	99
5.4.2.	Esempio n. 2		
	<i>Rinforzo di una cupola semicircolare</i>	"	105
5.4.3.	Esempio n. 3		
	<i>Consolidamento di una volta a padiglione</i>	"	108
5.4.4.	Esempio n. 4		
	<i>Rinforzo di un arco in muratura</i>	"	110
5.5.	Influenza del rinforzo FRP nelle volte in muratura	"	112
5.5.1.	Meccanismi di rottura della struttura rinforzata.....	"	115
5.5.2.	Il problema del “debonding”	"	116
6.	CASI APPLICATIVI	"	119
6.1.	Rinforzo di volte a crociera, ex monastero di S. Paolo d'Argon (BG).....	"	120
6.2.	Rinforzo di cupole, opificio di Biella (BI).....	"	124

6.3.	Rinforzo di volte a padiglione, villa residenziale di Alessandria (AL)	p.	126
6.4.	Rinforzo strutturale di volta a botte, Milano (MI)	"	128
6.5.	Rinforzo strutturale di volta a crociera, Pavia (PV)	"	129
6.6.	Consolidamento di arco in muratura, Verona (VR)	"	130
7.	BIBLIOGRAFIA	"	132
8.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	"	133
8.1.	Note sul software incluso	"	133
8.2.	Requisiti hardware e software	"	133
8.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	133
8.4.	Installazione ed attivazione del software	"	134

PREFAZIONE

La muratura in laterizio costituisce il più antico elemento da costruzione: nelle civiltà mediterranee essa ha rivestito un ruolo dominante in tutto l'arco temporale che collega le tecnologie costruttive primordiali ai moderni prodotti della rivoluzione industriale.

Già all'epoca degli Ittiti e dei Babilonesi era la concezione strutturale più impiegata, ma solo i Romani ne caratterizzarono l'uso per la realizzazione di opere monumentali, per le strutture verticali e per l'esecuzione di archi e volte.

Vi è una grande varietà di murature dovuta al carattere antico delle stesse, che si differenziano nella composizione, nella tessitura e nelle metodologie costruttive, tipiche delle varie epoche e aree geografiche.

La muratura nasce attraverso la sovrapposizione di elementi di varia natura (pietra, laterizio, ...) in genere collegati tra loro mediante diverse tipologie di leganti; solo con l'avvento di nuovi sistemi costruttivi in acciaio, in cemento armato si creò gradualmente un disinteresse nell'utilizzo della muratura come elemento strutturale, poiché molto oneroso dal punto di vista della manodopera.

Tuttavia, negli ultimi anni è stato possibile assistere ad una sua rivalutazione, in quanto le nuove tipologie strutturali, sebbene più semplici e meno costose dal punto di vista esecutivo, hanno messo in evidenza carenze anche dal punto di vista statico, e, poi, l'avvento delle nuove tecnologie ha portato sino ad oggi un'evoluzione nei processi produttivi del laterizio, mettendo a disposizione dei progettisti e delle imprese laterizi speciali con elevate caratteristiche di resistenza sia a livello strutturale, sia a livello di comfort abitativo e risparmio energetico.

Grazie ai suoi notevoli pregi, la muratura portante è una tecnica costruttiva molto diffusa in Inghilterra, Stati Uniti, Germania e Svizzera, dove gli studi effettuati e le rilevanti esperienze sono sfociati ormai da anni in una serie di norme tecniche rigorose.

Ciò di cui, bensì, si andrà a parlare nel presente libro non sarà la muratura portante in genere e la teoria al riguardo, ma verranno analizzate nel particolare le strutture voltate in muratura e le esperienze a riguardo, partendo da un'analisi preliminare su come gli originali costruttori concepivano le loro opere e le realizzavano, sullo stato fessurativo e di dissesto tipici delle stesse fino a giungere all'approccio corretto per lo studio delle volte, degli archi e delle cupole, alla progettazione degli interventi di consolidamento strutturale efficaci e compatibili con le strutture storiche.

In particolare, si valuterà per ogni tipologia il comportamento delle strutture voltate e gli interventi di rinforzo mediante l'applicazione dei materiali compositi, il cui acronimo è ridotto in FRP (*Fiber Reinforced Polymers*), andando a osservare alcuni esempi pratici realizzati.

RINGRAZIAMENTI

Questo testo è stato realizzato con il contributo della ditta Building Improving S.r.l. di Milano, che opera nel settore dei rinforzi strutturali con i materiali compositi dal 1994 e con cui collaboro da ormai due anni.

Desidero, inoltre, esprimere la più sincera gratitudine ai miei colleghi di lavoro che, ogni giorno, mi insegnano qualcosa di nuovo e con cui risolvo i casi più disparati di problematiche edilizie esistenti in Italia.

I MATERIALI COMPOSITI

Nel capitolo seguente verranno introdotti alcuni concetti fondamentali riguardanti le caratteristiche dei materiali di base costituenti un composito fibrorinforzato e le metodologie di produzione. Si porrà la massima attenzione sulla definizione di materiale composito e sui relativi prodotti di base, nonché su alcuni esempi di impiego e sulla loro meccanica.

1.1. Generalità

Cos'è un materiale composito?

Per definizione stessa, è un materiale costituito dall'unione di due o più costituenti, detti *fasi*, in genere distinti in:

- la **matrice**, che bloccando le fibre, trasferisce il carico e le protegge dagli agenti esterni;
- le **fibre**;
- gli additivi (o **interfaccia** matrice-fibra),

ovvero matrici polimeriche di natura organica e fibre di rinforzo lunghe, continue, il cui insieme porta ad avere prestazioni e proprietà meccaniche superiori a quelle dei singoli componenti.

Sono materiali eterogenei, anisotropi e possiedono un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso; attualmente consistono in uno dei metodi più efficienti e meno invasivi per applicazioni strutturali, i cui vantaggi possono essere riassunti in leggerezza, elevate caratteristiche meccaniche e semplicità nella posa in opera.

Vengono considerati una tecnologia innovativa e moderna, ma occorre pensare che i compositi venivano utilizzati molto tempo fa e che erano uno dei risultati per cui poteva essere risolto una problematica (si pensi, ad esempio, al mattone in argilla e paglia, o ancora alle leghe metalliche come l'ottone o il bronzo).

La fase delle fibre è formata da centinaia di filamenti, che vanno a costituire una parte rilevante del composito e possiedono proprietà molto più elevate rispetto alla matrice in cui sono immerse, ma che senza di essa non possono essere utilizzate.

Dall'inglese *Fyber Reinforced Polymers* è stato attribuito l'acronimo di FRP e in commercio vengono distinte, ulteriormente, in base al materiale di cui si compongono, ovvero:

- **fibre di carbonio**, o CFRP (*Carbon Fyber Reinforced Polymers*);
- **fibre di vetro**, o GFRP (*Glass Fyber Reinforced Polymers*);
- **fibre di arammide**, o AFRP (*Aramyde Fyber Reinforced Polymers*),

così come, fibre di basalto, di acciaio o di PBO, diverse per la natura della matrice o per la discontinuità della fibra.

La caratteristica di anisotropia può essere semplicemente spiegata tenendo presente che le elevate caratteristiche meccaniche di questi materiali dipendono dalla direzione lungo la quale vengono considerate.

I compositi per il rinforzo strutturale possono avere varie geometrie e da questa, assieme all'orientamento, dipendono anche le loro proprietà, influenzando sull'anisotropia, precedentemente detta, del sistema.

In particolare, le fibre di vetro sono molto impiegate nel campo dell'ingegneria edile per la formazione di reti, tessuti, utili per esempio al fine di rinforzare tamponature in muratura; esistono varie tipologie di fibre di vetro, e ognuna di esse ha uno specifico campo di utilizzo.

Le principali caratteristiche meccaniche delle varie tipologie sono riportate nella tabella successiva 1.01.

Tipo	Densità [g/cm ³]	Modulo elastico di trazione [MPa]	Resistenza a trazione [MPa]	Allungamento a rottura [%]
E	2,57	72.500	3.400	2,50
A	2,46	73.000	2.760	2,50
C	2,46	74.000	2.350	2,50
S	2,47	88.000	4.600	3,00

Tab. 1.01. *Caratteristiche delle più comuni fibre di vetro*

Gli svantaggi dell'impiego delle fibre di vetro riguardano la necessità di proteggere il sistema, poiché sono particolarmente sensibili all'umidità, in presenza di ambienti salini e ad elevata alcalinità, e la loro tendenza al degrado sotto l'azioni di carichi ciclici.

Allo stesso tempo, però, offrono eccellenti proprietà isolanti e una notevole convenienza economica, rispetto agli altri tipi in commercio.

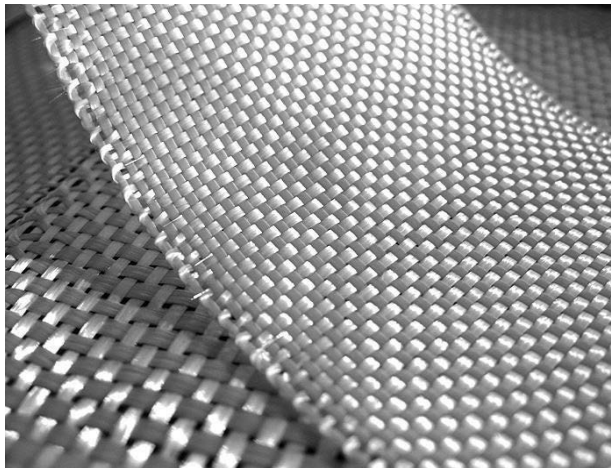


Fig. 001. *Fibra di vetro GFRP*

Le fibre di carbonio sono disponibili in varie geometrie, così come le precedenti, in lamine, tessuti e barre, e vengono prodotte ad elevate temperature (fino a 2.400 °C). Possiedono una migliore durabilità, sia in ambienti aggressivi, sia sotto l'azione di carichi ripetuti, e possono essere distinte in base all'entità del modulo elastico e della resistenza a trazione.

Tipo	Densità	Modulo elastico [MPa]	Resistenza a trazione [MPa]	Allungamento a rottura [%]
Alta resistenza	1,80	240.000	4.900	1,55
Alto modulo elastico	1,90	390.000	3.900	0,50
Altissimo modulo elastico	2,10	760.000	2.700	0,20

Tab. 1.02. *Caratteristiche delle più comuni fibre di carbonio*

Così come si può notare dalla tabella precedente, il modulo elastico e la resistenza a trazione sono inversamente proporzionali: durante il processo di produzione delle fibre, queste vengono sottoposte a trazione, e tanto è maggiore lo sforzo, tanto più elevato sarà il modulo elastico finale.

Rispetto alle fibre di vetro, possiedono una notevole rigidità e un coefficiente di dilatazione termica relativamente basso, comportando così un innalzamento dei costi di produzione, ma una miglioria per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche.

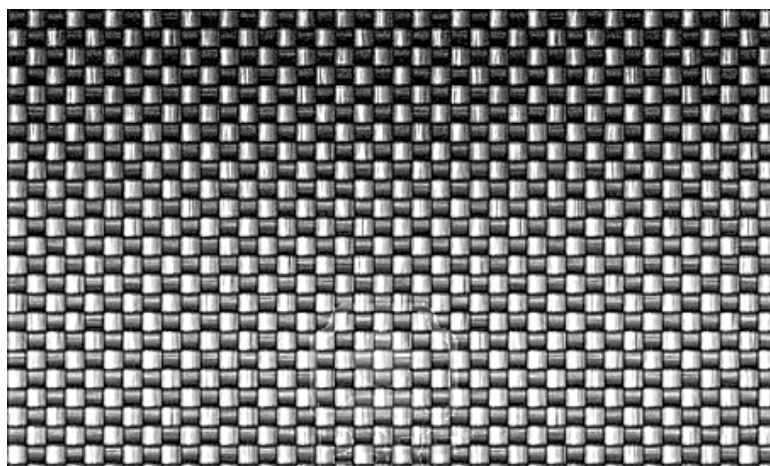


Fig. 002. *Fibra di carbonio CFRP*

E così si potrebbe discorrere anche a riguardo delle altre tipologie di fibre, già enunciate precedentemente, come la fibra aramidica, utilizzata specialmente per i giubbotti antiproiettile, la fibra di basalto, resistente al calore e alle vibrazioni, la fibra di acciaio, ecc. ..., e tutto questo gruppo caratterizzato da spessori ridottissimi e elevate resistenze rappresentano una delle tecnologie più innovative, e anche affidabili, nel campo dell'edilizia.

Fondamentalmente, questi sistemi, però, funzionano solo grazie all'abbinamento con specifiche matrici (resine epossidiche, poliestere, ...) che, oltre ad offrire una protezione non indifferente alla fibra, fanno aderire il materiale composito al supporto, che sia in calcestruzzo, in muratura, in legno o in acciaio.

L'aderenza, pertanto, è la variabile che gioca un ruolo fondamentale nell'impiego di questa tecnica, che se non viene assicurata sempre e comunque, vanifica del tutto l'intervento che si va a realizzare.

In particolare, le resine epossidiche sono polimeri termoindurenti, vetrose a temperatura ambiente, che vengono miscelate con diluenti (stirene) per diminuire la viscosità al fine di facilitarne l'impregnazione. Queste sono caratterizzate da una buona resistenza all'umidità e agli agenti chimici, ed inoltre presentano ottime capacità adesive; ecco perché risultano essere gli adesivi più adatti per i materiali compositi, che, una volta induriti, a seguito di una reazione chimica di reticolazione, essi realizzano il collegamento strutturale fibra-supporto.

Il tipo di matrice ha una scarsa influenza sulle proprietà meccaniche della fibra, ma è il componente a diretto contatto con l'esterno, che fa lavorare la fibra e deve possedere, perciò, resistenza alla corrosione, al calore e all'abrasione.

Ora, nel caso della resistenza al calore, parlando più specificatamente, di resistenza al fuoco, sono poche le matrici che assicurano un buon comportamento a riguardo. Basti pensare alle resine che, superata la soglia di temperatura di circa 60 °C, cominciano un processo di rammollimento che, ovviamente, annulla l'intero intervento eseguito.

In questi casi, laddove occorra garantire l'efficacia del sistema, anche sotto carico di incendio, la lavorazione seguente all'applicazione del materiale composito deve essere integrata da adeguati spessori di rivestimento, come l'utilizzo di intonaci protettivi o di pannelli intumescenti (in genere a base di calciosilicati), per ovviare al rammollimento della resina.

Tutt'oggi esistono anche, a titolo informativo, materiali compositi, come il PBO (poliparafenilbenzobisoxazolo), sviluppati senza l'ausilio di matrici polimeriche, bensì con l'impregnazione sulla superficie mediante malte di tipo cementizio, che costituiscono, insieme, uno dei sistemi di classe A, dove la resistenza al fuoco non è più un problema.

1.2. Tecnologie di produzione

Le proprietà finali dei materiali compositi, oltre che dalle specifiche proprietà costituenti rinforzo e matrice, sono intrinsecamente legate alle tecniche di fabbricazione dei semiprodotti e dei prodotti finali.

Non basta, perciò, limitarsi a scegliere i tipi di materiali, bensì sarà di fondamentale importanza ponderare le tecniche di associazione dei singoli

componenti al fine di garantire la qualità del prodotto.

L'obiettivo finale, che tutt'oggi si tenta di realizzare, è quello di ottenere strutture in materiale composito, così come prodotti, che presentino costi totali inferiori a quelli richiesti dalle medesime realizzate in metallo.

Il processo che porta dalle materie prime al prodotto finito è costituito, essenzialmente da due fasi: nella prima i componenti vengono uniti per dar loro la forma definitiva; nella seconda, in base al tipo di matrice, avviene la solidificazione del materiale.

La fase iniziale comprende, pertanto, la miscelazione tra matrice e fibra di rinforzo; a questo punto, per avere la forma definitiva, i processi possono avvenire a **stampo aperto** o a **stampo chiuso**.

La solidificazione completa, infine, si ottiene in 3 fasi:

- a) *Gelificazione*, ovvero la polimerizzazione di circa il 70% della resina;
- b) *Cura*, ovvero l'applicazione contemporanea di pressione e alte temperature fa sì che il legame matrice-fibra diventi ottimale;
- c) *Post-cura*, in modo da raggiungere la massima consistenza e la riduzione di eventuali tensioni residue.

Riassumendo, le tecnologie di produzione più utilizzate nella loro fabbricazione sono enunciate qui di seguito:

- a spruzzo;
- a mano;
- sottovuoto;
- RTM (*Resin Transfer Moulding*);
- RFI (*Resin Film Infusion*);
- Pre-impregnati;
- Pultrusione;
- FW (*Filament Winding*).

Vediamo ora, nel dettaglio, alcuni di questi processi.

1.2.1. Lo stampaggio a contatto

Lo stampaggio a contatto, o *lay-up manuale*, è un metodo artigianale ed economico che viene largamente impiegato per comporre elementi in materiale plastico rinforzato.

La tecnica consiste nell'applicazione di resina su uno strato di fibre preapplicato allo stampo, cui segue la rimozione di eventuali bolle d'aria con rulli. Questa operazione continua finché non si arriva allo spessore di progetto voluto. La forma assume l'impronta dello stampo per cui le superfici interne devono essere perfettamente pulite. Lo strato di *gel-coat*, ovvero l'agente distaccante, assolve a questa funzione, in quanto costituirà la superficie esterna del pezzo.

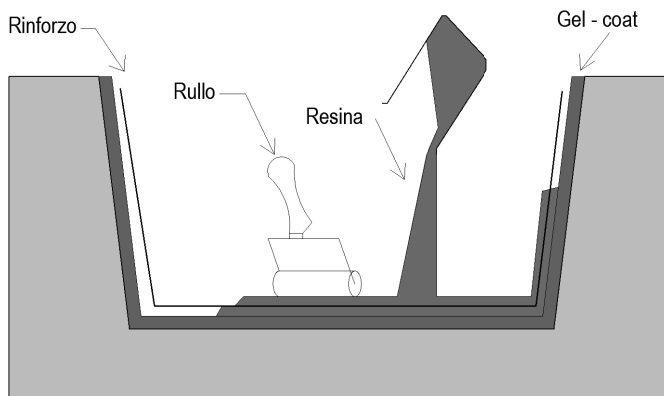


Fig. 003. Schema della tecnologia a mano

Possono, inoltre, essere aggiunti al sistema di resina una serie di agenti catalizzatori (o acceleranti) in modo da garantire alla stessa di reticolare in assenza di calore applicato dall'esterno.

Infine il processo di polimerizzazione può avvenire a temperatura ambiente con una durata che varia in funzione della tipologia di resina impiegata, o in alternativa, può venire accelerato a solo 3 ore, riscaldando il sistema tra 40 °C e 80 °C.

In particolare, la scelta di quale resina utilizzare si basa essenzialmente su criteri di caratteristiche meccaniche e costi.

1.2.2. La tecnologia a spruzzo

La spruzzatura automatica (o *spray-up*) è un diverso stampaggio a contatto, meccanizzato che consente di ridurre i costi complessivi del laminato, tramite l'utilizzo di fibre di vetro a basso costo; vengono ridotti i tempi di applicazione e di impregnazione della fibra, ed eliminati scarti e bagni di resina inutilizzati.

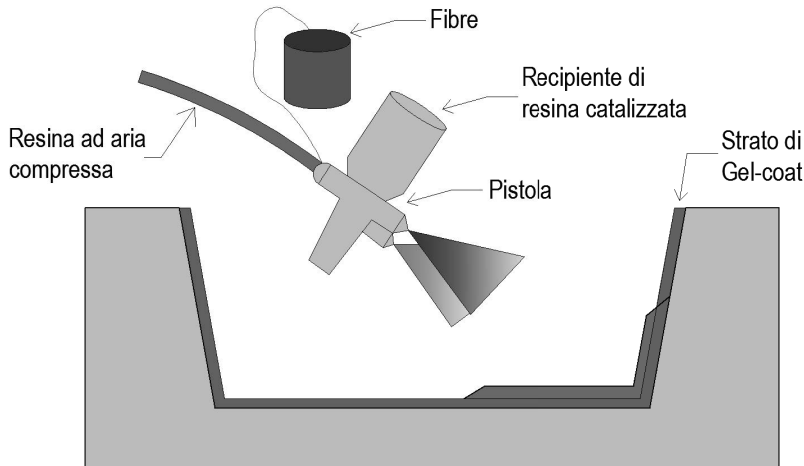


Fig. 004. Schema della tecnologia a spruzzo

La resina e le fibre di vetro vengono depositati simultaneamente nello stampo aperto da una pistola a spruzzo e un tranciatore, e mediante un rullo si compattano le fibre nella resina. Come nella tecnologia precedente, il getto di *gel-coat* viene usato sullo stampo per migliorare la finitura superficiale del pezzo e per facilitarne il distacco.

Le resine impiegate sono, in genere, resine poliestere caratterizzate da una determinata viscosità al fine di impregnare rapidamente le fibre.

1.2.3. Bag Molding

Anche detto stampaggio in sacco, esso consente di stampare materiale rinforzato preimpregnato sotto pressione, contenente una resina termoindurente, facendo uso di un diaframma flessibile e utilizzando l'aria per esercitare la dovuta pressione.

Può essere effettuato secondo tre metodologie differenti, quali:

- Sacco sottovuoto;
- Sotto pressione;
- In autoclave.

In particolare, gli ultimi due risultano essere i più vantaggiosi dal punto di vista economico, in quanto lo stampaggio sotto pressione necessita dell'azione combinata di pressione e calore per cui è fondamentale la scelta accurata del materiale e dello stampo più appropriati.

In genere per le attrezzature si possono impiegare anche materiali plastici, che sono più avvantaggiati rispetto ad altri; i metodi più comuni per realizzare stampi in materiale plastico sono il colaggio e la laminazione.

Le fasi lavorative prevedono, essenzialmente, le seguenti operazioni:

- Preparazione delle attrezzature e applicazione del gel-coat.
- Taglio dei pezzi nella forma e dimensioni volute, per mezzo di coltelli, forbici, getti d'acqua, ecc..
- Stratificazione, eliminando tutte le grinze e le sacche d'aria.
- Insaccaggio, basato sul tipo di deposizione, sulla resina, sullo spessore del pezzo, sulla pressione e temperatura di polimerizzazione. Nello stampaggio sottovuoto l'insieme degli strati viene ricoperto da un sacco e sigillato; praticato il vuoto, viene posizionato in forno o autoclave.
- Ciclo di polimerizzazione per far sì che la resina liquida reticoli portando il pezzo alla configurazione e caratteristiche meccaniche richieste.

In particolare la laminazione trova impiego, esclusivamente, per la produzione di compositi innovativi e si tratta di un processo discontinuo che permette la realizzazione di laminati compositi di spessore variabile.

Essa può essere effettuata partendo da fibre secche da impregnare con resina durante l'applicazione, o in alternativa, da tessuti preimpregnati a fibre continue e unidirezionali.

Un'ulteriore fase della laminazione è la preparazione del sacco da vuoto, che ha la funzione di consentire la rapida estrazione dei solventi e dell'aria, e di compattare gli strati tra di loro prima della reticolazione della resina.

1.2.4. RTM – Resin Transfer Molding

Si tratta di un processo a stampo chiuso che permette la realizzazione di compositi in diverse forme, dimensioni e prestazioni; esso si differenzia dagli altri tipi di stampaggio poiché il rinforzo e la resina vengono combinati all'interno dello stampo: la resina polimerica termoindurente viene iniettata nello stampo, in cui sia stato già predisposta una preforma di fibre, come un tessuto. La polimerizzazione avviene a temperatura ambiente o a caldo, con o senza agente accelerante.