

SUPERFICI E LORO FORMAZIONE

La ricerca per lungo tempo si è dedicata allo studio di molti aspetti delle superfici (rugosità o energia superficiale) tralasciando aspetti fondamentali come le meccaniche di formazione dei difetti. Nella trattazione che segue si cercherà di definire le sollecitazioni imposte alle superfici durante il taglio e le loro risposte in senso meccanico.

1.1 INTRODUZIONE

Lo studio delle superfici ha fino ad oggi mirato alla determinazione della qualità finale di una superficie lavorata, con lo scopo di poterle assegnare un "grado di finitura". Un aspetto che è stato fino ad ora trascurato è invece quello dell'origine meccanica del difetto. Come vedremo, tale origine può essere sempre ricondotta sia alle variabili intrinseche ed estrinseche alla lavorazione, sia in particolar modo all'angolo della fibratura rispetto al piano di taglio. Si sono quindi studiate le basi meccaniche di interazione legno-utensile, che dovranno poi essere analizzate alla luce del loro risultato in senso visuale. Questo approccio alle superfici prescinde dalla gravità estetica derivante dall'interazione meccanica, e quindi non tratta la qualità di una superficie lavorata, ma ha semplicemente lo scopo di comprendere quali meccaniche siano alla base della formazione delle superfici. Il lavoro che segue deve essere considerato un primo approccio al problema ed è tuttora in stato di avanzamento. Lo scopo di questa pubblicazione è quello di fornire le idee generali dei processi meccanici che portano alla formazione dei difetti.

1.2 SOLLECITAZIONI E LORO SVILUPPI

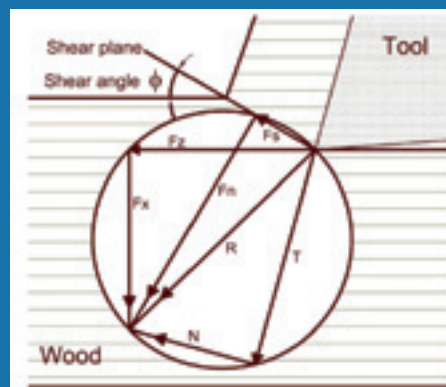
Tutti i difetti traggono la loro origine da una difficoltà del tagliente nell'eseguire il taglio. Per approfondire dunque le conseguenze legate ad un taglio difficoltoso deve essere anzitutto definita l'operazione di "taglio" del legno da parte di un utensile. L'azione del tagliare il legno consiste nella separazione della materia secondo la superficie descritta dal margine tagliente di un utensile e nella deflessione del materiale separato [Giordano].

Nel nostro caso questa incapacità a tagliare è legata solo in parte alle caratteristiche dell'utensile, ma principalmente alle caratteristiche intrinseche del legno. Il legno è un materiale anisotropo, le cui caratteristiche meccaniche variano nei diversi piani. Gli elementi cellulari sono connessi da forze di vario tipo ed intensità, legami covalenti in direzione longitudinale e legami secondari sul piano trasversale. Questo comporta la formazione di piani con differenti caratteristiche meccaniche. Ogni tagliente, non essendo perfettamente affilato, esegue una pressione sugli elementi cellulari. A seguito di queste sollecitazioni gli elementi cellulari offrono una resistenza al taglio che cambia al variare dell'angolo della fibratura.

Si definisce resistenza al taglio: la resistenza offerta dagli elementi cellulari interessati all'azione meccanica del tagliente durante il taglio.

Tale resistenza quindi è strettamente dipendente dall'orientamento

degli elementi ed è quindi uno dei principali fattori che determinano l'evoluzione della superficie sottoposta a lavorazione. Il modo con cui evolverà poi la superficie durante il taglio a causa della resistenza che oppone al tagliente prende il nome di modalità di scissione e dipenderà come vedremo dall'interazione tra l'appena definita "resistenza al taglio" e la "reazione massima" sostenibile dalle caratteristiche meccaniche della specie nella direzione di sollecitazione. Mentre la "resistenza al taglio" riguarda i singoli elementi cellulari e la loro disposizione nello spazio e quindi la tendenza del singolo elemento ad essere tagliato, la "reazione" nel suo complesso riguarda invece gruppi di elementi cellulari ed il loro comportamento meccanico. L'analisi approfondita delle forze di taglio è già prevista per una pubblicazione futura.



(a) cerchio delle forze

Figura 1: Il cerchio delle forze di Erns e Merchant mostra l'insieme delle sollecitazioni eseguendo il taglio con moto rettilineo. La reazione offerta al taglio è rappresentata fondamentalmente da $-F_z$. N: forza normale alla faccia dell'utensile, T: forza di attrito truciolo-utensile R: risultante, F_s : forza di scorrimento, F_n : forza normale al piano di scorrimento, F_z : forza principale, F_x : resistenza all'avanzamento. Shear angle: angolo di scorrimento, Shear plane: piano di scorrimento

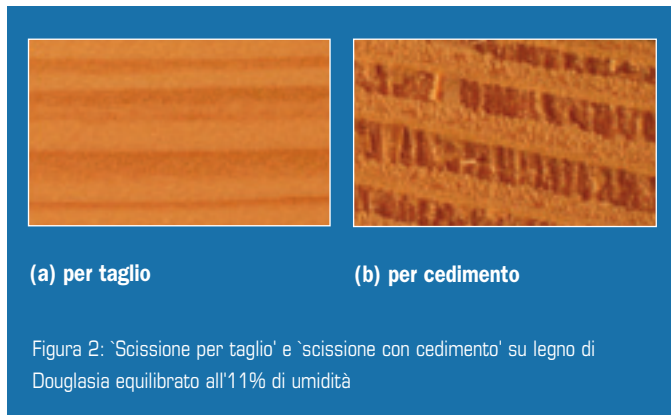
1.3 MODALITÀ DI SCISSIONE

I singoli elementi rispondono alle sollecitazioni opponendo una resistenza meccanica che abbiamo già definito "resistenza al taglio", la superficie nel suo complesso risponde alle sollecitazioni con una "reazione al taglio". L'evoluzione della superficie ed in particolare la sua reazione a queste sollecitazioni saranno

strettamente dipendenti dal rapporto tra la `resistenza al taglio' e le caratteristiche meccaniche del pezzo in lavorazione. Quindi a seconda che la superficie reagisca alla sollecitazione provocando un taglio preciso e netto o cedimenti strutturali si distinguono due tipi fondamentali di scissione:

- scissione per taglio
- scissione con cedimento

che saranno analizzate più approfonditamente in seguito (vedi Fig. 2).



1.3.1 SCISSIONE PER TAGLIO E "SUPERFICIE TEORICA"

Il fatto che la scissione avvenga `per taglio', cioè secondo la definizione fornita in par. 1.2, fa sì che gli elementi cellulari sottostanti il coltello siano separati dai soprastanti per `sollecitazione a taglio' e che si abbia quindi la formazione di un piano di scorrimento. Questo comportamento implica che gli elementi cellulari siano capaci di autosostenersi durante il passaggio affinché non si verifichino cedimenti strutturali. Il taglio in queste condizioni si svilupperà lungo la superficie descritta dal margine tagliente (almeno nella parte prossimale alla superficie come vedremo nel concetto di `zona di pertinenza' che analizzeremo in par. 1.4). Il fatto che le resistenze meccaniche del pezzo in lavorazione siano maggiori della `resistenza al taglio' fa sì che non si abbiano cedimenti strutturali, e le reazioni conseguenti prendono quindi il nome di `reazioni con taglio' o `reazioni per scorrimento'.

Si definisce scissione per taglio: quella separazione di materia in cui la `resistenza al taglio' risulti inferiore alla resistenza meccanica del materiale stesso (reazione massima) nella direzione in cui avviene la sollecitazione, e quindi la scissione avvenga in maniera precisa e netta lungo la linea percorsa dal margine tagliente.

La scissione avviene per taglio prevalente, perché la sollecitazione a taglio è la più importante in questo caso anche se ciò non esclude la presenza di altre sollecitazioni. Di solito si verifica con la formazione di un truciolo di "Tipo II" (vedi Fig. 3) tra quelli descritti da Franz. Per soddisfare questa condizione non è necessaria una particolare orientazione della fibratura, certo è comunque, che essendo il legno più resistente in senso longitudinale ed essendo il piano di debolezza del legno orientato

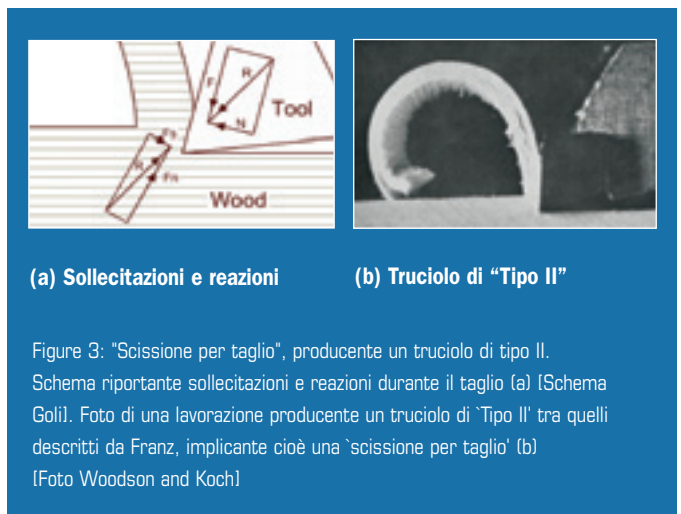
longitudinalmente, per le specie a densità medio bassa è più facile rientrare in questa condizione eseguendo una lavorazione a filo dritto o con angoli relativamente bassi della fibratura, mentre le specie ad alta densità spesso hanno caratteristiche meccaniche tali da permettere una lavorazione corretta anche lavorando ad angoli alti della fibratura o addirittura eseguendo una lavorazione di testa. La superficie ottenuta con questa modalità di scissione è la più prossima alla così detta `superficie teorica'.

Si definisce superficie teorica: quella superficie descritta dalla combinazione del moto dell'utensile e del moto di avanzamento del pezzo durante una lavorazione.

Tale superficie rappresenta il riferimento a cui comparare le superfici ottenute per lavorazione.

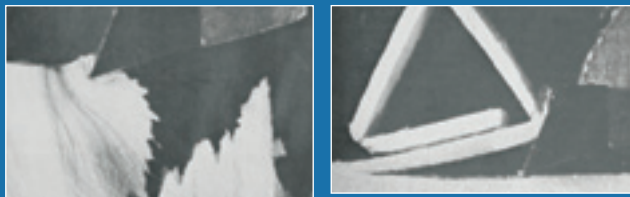
1.3.2 SCISSIONE CON CEDIMENTO

La scissione con cedimento è invece caratterizzata da cedimenti strutturali dovuti al fatto che la `resistenza al taglio' è più importante delle caratteristiche meccaniche del materiale stesso (vedi Fig. 4). Questa resistenza quindi innesca meccaniche che provocano cedimenti strutturali delle fibre anziché un taglio preciso e netto.



Si definisce scissione con cedimento: quella separazione di materia in cui la `resistenza al taglio' risulti maggiore della resistenza meccanica del materiale stesso (reazione massima) nella direzione in cui avviene la sollecitazione, e quindi la scissione avvenga su una linea diversa da quella percorsa dal margine tagliente.

Questa situazione si verifica principalmente quando gli elementi cellulari sono inclinati rispetto alla tangente tra utensile e superficie finale, ed è imputabile alle mediocri caratteristiche meccaniche del legno in sezione trasversale ed alla forte resistenza dello stesso ad una sollecitazione impressa in questa direzione. Il taglio sui piani sub-longitudinale, sub-trasversale o trasversale, risulta quindi essere un'operazione assai più complessa rispetto al taglio eseguito in direzione longitudinale.



(a) Cedimento strutturale

(b) Truciolo di "Tipo I"

Figura 4: 'Scissioni con cedimento', causate da diverse meccaniche come la compressione in (a) [Foto Woodson and Koch], e la formazione di trucioli di 'Tipo I' [Franz] in (b) [Foto Woodson and Koch]



(a) Lavorazione controfilo

(b) Lavorazione a filo dritto

Figura 5: Schemi delle lavorazioni con reazione a trazione trasversale eseguite "controfilo" (a) e "a filo dritto" (b) e delle sollecitazioni conseguenti [Schema Goli]

Queste sollecitazioni, portano il materiale a rompersi per cedimenti strutturali, e generalmente sono alla base dei così detti "difetti di lavorazione".

Tale 'modalità di scissione' può originarsi da due tipi di reazioni fondamentali:

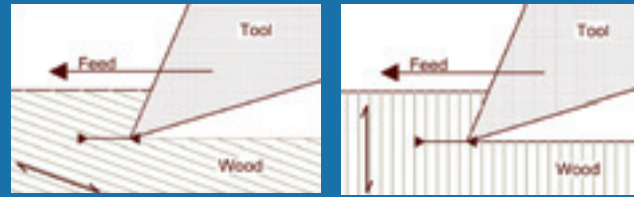
- reazione a trazione trasversale
- reazione a compressione trasversale

che sono riconducibili alle lavorazioni che causano una tendenza alla compressione della materia in lavorazione, o un sollevamento della stessa. Tali reazioni riguardano quindi principalmente le lavorazioni eseguite "nel senso del filo" (per schiacciamento) e "controfilo" (per sollevamento). Anche in questo caso la trazione e la compressione devono essere intese come 'prevalenti', perché non escludono la presenza di altre sollecitazioni, anche se sono sicuramente le più importanti.

Reazione a trazione trasversale

Si verifica quando a seguito della sollecitazione impressa dal coltello agli elementi cellulari durante il taglio, gruppi di questi tendono ad essere sollevati.

Questo avviene a causa dell'inclinazione degli elementi cellulari che quando spinti in avanti tendono a ruotare verso l'alto rispetto ad un fulcro generalmente posizionato sotto la superficie teorica, ma può avvenire anche per una lavorazione eseguita a filo



(a) Lavorazione nel senso del filo

(b) Lavorazione di testa

Figura 6: Schemi delle lavorazioni con reazione a compressione trasversale eseguite "nel senso del filo" (a) e "di testa" (b) e delle sollecitazioni conseguenti [Schema Goli].

dritto nel caso della formazione di trucioli di tipo I. La tendenza al sollevamento degli elementi cellulari provoca, tra gli elementi in sollevamento e quelli sottostanti, una reazione meccanica di trazione trasversale (vedi Fig. 5).

Tale reazione è attribuibile in termini generali alle lavorazioni eseguite "controfilo".

Si definisce lavorazione controfilo quella lavorazione in cui la direzione della fibratura formi un angolo maggiore di 90° ed inferiore a 180° con la retta congiungente il centro dell'utensile e il becco tagliente nel punto di tangenza con la superficie (misurato in senso antiorario dalla retta stessa) ed in certi casi alle lavorazioni eseguite "a filo dritto" (trucioli del "Tipo I" [Franz]) che generalmente è invece legata ad una "reazione con taglio". Si definisce lavorazione a filo dritto quella lavorazione in cui la direzione della fibratura formi un angolo di 90° con la retta congiungente il centro dell'utensile e il becco tagliente nel punto di tangenza con la superficie.

Reazione a compressione trasversale

Tale reazione si verifica quando a seguito della sollecitazione impressa dal coltello agli elementi cellulari durante il taglio, gruppi di questi tendono ad essere compressi sulla superficie (vedi Fig. 6).

Tale reazione è attribuibile in termini generali alle lavorazioni eseguite "nel senso del filo".

Si definisce lavorazione nel senso del filo quella lavorazione in cui la direzione della fibratura formi un angolo maggiore di 0° ed inferiore a 90° con la retta congiungente il centro dell'utensile e il becco tagliente nel punto di tangenza con la superficie (misurato in senso antiorario dalla retta stessa) e alla "lavorazione di testa".

Si definisce lavorazione di testa quella lavorazione in cui la direzione della fibratura formi un angolo di 0° con la retta congiungente il centro dell'utensile e il becco tagliente nel punto di tangenza con la superficie.

In queste due lavorazioni, gli elementi cellulari, a causa della notevole resistenza offerta al taglio durante l'avanzamento dell'utensile, anziché essere tagliati tendono ad essere compressi sugli elementi seguenti per cedimento del lume cellulare.

1.4 "ZONE DI PERTINENZA" E "SERIE MECCANICHE"

Fattori importanti come la zona di origine della superficie e l'interazione dinamica tra utensile ed elementi cellulari trovano una loro parziale rappresentazione nei concetti di "zona di pertinenza" e di "serie meccanica".

Si definisce zona di pertinenza quella zona che per le condizioni di lavoro impostate ha un'influenza meccanica o estetica sulla qualità finale della superficie lavorata.

Le sollecitazioni che si susseguono in questa zona sono considerabili all'origine della superficie finale e fanno parte della così detta "serie meccanica".

Si definisce "serie meccanica" quell'insieme di sollecitazioni meccaniche in successione interessanti una certa zona di pertinenza che hanno come conseguenza un determinato stato di

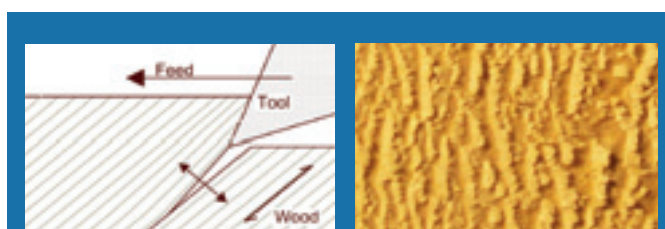
La serie meccanica identifica univocamente la meccanica di formazione ed è alla base della classificazione delle meccaniche di formazione.

Meccaniche che si verificano durante il taglio ma che non interessino la superficie, perché ad esempio si sta lavorando uno spessore elevato, non fanno parte della "serie meccanica". Fanno invece parte della serie meccanica le differenze intrinseche tra le lavorazioni eseguite in discordanza ed in concordanza. Come sappiamo queste lavorazioni differiscono profondamente l'una dall'altra. La lavorazione in discordanza inizia il taglio nel punto di tangenza con la superficie finale e dalla parte di minimo spessore del truciolo, continuando il taglio con moto ascendente. La lavorazione in concordanza inizia il taglio dalla parte di massimo spessore del truciolo e lo conclude con



(a) Zona di pertinenza

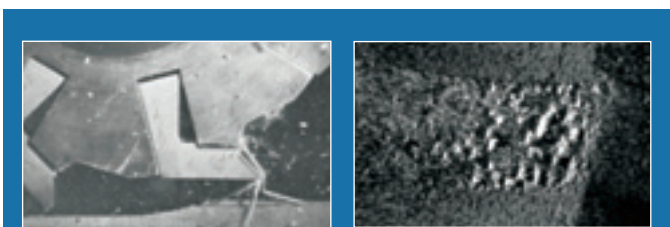
Figura 7: Si noti come le rotture nella parte alta (per trazione trasversale e flessione) non influenzino lo stato della superficie, quindi non facciano parte della così detta 'zona di pertinenza'. [Schema Goli]



(a) Trazione

(b) Flessione

Figura 9: Schematizzazione del concetto di "Serie meccanica". Si noti come il difetto si origini con una meccanica per "reazione a trazione" e poi la rottura avvenga per flessione. [Schema Goli]



(a) Rotture

(b) Truciolo

Figura 8: Si noti come in (a) le rotture nella parte alta non abbiano la minima influenza sulla qualità superficiale [Foto Koch]. In (b) si ha invece una superficie in cui si è interrotta la lavorazione, anche qui si noti come i difetti presenti nella parte alta dell'arco di percorso della lama non siano presenti sulla superficie [Foto Goli]

una superficie.

Questo significa che la formazione di una superficie per asportazione di truciolo deriva da un'insieme di sollecitazioni meccaniche che si susseguono in un certo intervallo di tempo in una certa zona. Questa evoluzione di meccaniche prende il nome di "serie meccanica" e la zona le cui meccaniche interessano la superficie in formazione prende il nome di "zona di pertinenza".

moto discendente nel punto di tangenza con la superficie finale. Questa è un'indubbia e non trascurabile differenza di tipo meccanico tra i due processi. Un fattore importante per l'interpretazione di questi fenomeni è la "zona di pertinenza". Dove la zona di pertinenza sia ravvicinata al punto di tangenza, possiamo dire che l'evoluzione meccanica dei due tipi di lavorazione sia molto simile a parità di inclinazione della fibratura, e quindi si possono considerare come facenti parte della stessa "serie meccanica", mentre se la zona di pertinenza è molto grande avremmo delle differenze significative nei due processi. Dove la "zona di pertinenza" fosse sufficientemente piccola da non dover comportare differenziazioni importanti di tipo meccanico si è preferito non fare distinzioni. Dove la zona di pertinenza fosse un fattore cruciale si è scelto di individuare due varianti o addirittura di classificare la reazione in due differenti meccaniche.

1.5 "MECCANICHE DI FORMAZIONE" E LORO CLASSIFICAZIONE

Le meccaniche di formazione delle superfici sono molte e le 'serie meccaniche' evolvono in maniera molto diversa in base ai fattori intrinseci o estrinseci al materiale. Comunque in base alle distinzioni fatte fino ad ora le meccaniche possono essere anzitutto divise in due grandi gruppi che analizzeremo separata-

SUPERFICI

mente:

- Meccaniche a taglio prevalente
- Meccaniche ibride

Le meccaniche 'a taglio prevalente' derivano da 'scissioni per taglio' e quindi che non sono caratterizzate da 'cedimento', mentre le 'meccaniche ibride' inglobano reazioni diverse dal taglio e quindi in generale sono legate ad una 'scissione con cedimento'.

1.5.1 MECCANICHE A TAGLIO PREVALENTE

Per tali meccaniche la "zona di pertinenza" è assai ridotta, e probabilmente riguarda esclusivamente le immediate prossimità al punto di tangenza. La scissione del materiale avviene per 'sollecitazione a taglio' ed il materiale è sufficientemente resistente da permettere che il taglio avvenga senza cedimenti.

1.5.2 MECCANICHE IBRIDE

Fanno parte di questo gruppo tutte le meccaniche che portano alla formazione della superficie con una modalità che differisca da quella della "sollecitazione a taglio". Il principio di classificazione di queste meccaniche parte dalla divisione in tre grandi classi indicanti se la serie meccanica abbia come conseguenza: una riorganizzazione del materiale comunque presente sulla "superficie teorica", l'asportazione di parte di questo, o una situazione intermedia tra le due (vedi Fig. 10). Su questo principio si dividono le "meccaniche ibride" in tre classi di formazione:

- per "spostamento di materia", quando la superficie subisce delle alterazioni e il materiale non viene asportato sotto il piano di lavorazione, ma si ha piuttosto una riorganizzazione della superficie
- per "distacco di materia", quando durante il taglio si ha l'asportazione di materiale al di sotto del piano di lavorazione ed il suo completo distacco dalla superficie
- in "modalità mista", quando si verificano contemporaneamente i fenomeni di "spostamento" e "distacco di materia"

Queste "classi di formazione" sono a loro volta divise in mec-

caniche principali in base al principio della "reazione meccanica". Tale reazione è quella che si verifica per prima, quella maggiormente legata all'origine della serie e può essere come già descritto precedentemente:

- "a trazione trasversale prevalente", che individua le lavorazioni eseguite "controfilo" e talvolta a "filo dritto"

- "a compressione trasversale prevalente", che individua le lavorazioni eseguite "nel senso del filo" o le lavorazioni "di testa".

Un ulteriore importante carattere di distinzione è la modalità di rottura o di cedimento, che caratterizza la così detta meccanica secondaria. Si distingue tra rottura e cedimento perché nel caso del distacco di materia, come nel caso della modalità mista, si ha una vera e propria "rottura", mentre nel caso dello spostamento di materia si hanno dei "cedimenti", che portano ad una riorganizzazione della superficie (vedi Fig. 11). Se ne sono individuati più tipi:

- rottura a flessione;
- rottura a trazione longitudinale;
- cedimento parziale;
- cedimento plastico;
- cedimento elastico.

Infine per ogni 'meccanica secondaria' si distinguono sotto-meccaniche e varianti. Le singole sotto-meccaniche sono indicate da un numero progressivo da accoppiare alla lettera indicante la "meccanica secondaria". Meccaniche simili sono quindi indicate con la stessa lettera e distinte dal numero. Le varianti descrivono invece diversità nella serie meccanica imputabili al fatto che la lavorazione avvenga in 'discordanza' o in 'concordanza'.

1.5.3 CLASSIFICAZIONE DELLE MECCANICHE

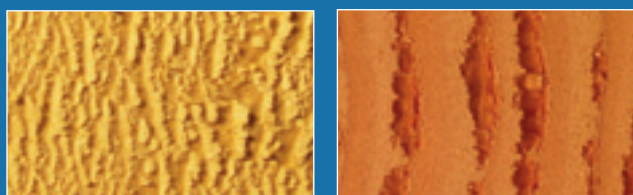
La lista completa delle meccaniche di formazione delle superfici è riportata nello schema seguente:

- Meccaniche a taglio prevalente;
- Meccaniche ibride;

1 Per spostamento di materia

n A trazione trasversale prevalente

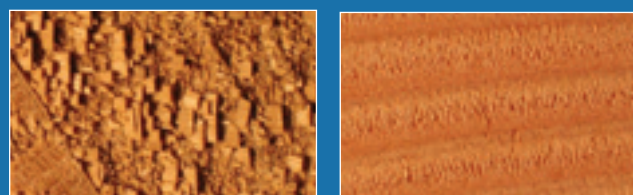
cedimento parziale (tipo A1 var. 1 e 2)



(a) Per spostamento di materia

(b) Per distacco di materia

Figura 10: Si illustrano le due classi principali: per 'spostamento di materia' su pioppo nero (a) si noti come nonostante il fatto che la materia sia spostata rimettendola al suo posto si riesce a ricreare la superficie e per 'distacco di materia' (b) in cui si vede che la materia è stata asportata completamente dalla superficie. [Foto Goli]



(a) Per rottura a flessione

(b) Per cedimento plastico

Figura 11: Si riporta a titolo di esempio una meccanica secondaria con 'rottura a flessione' (a) su quercia ed una per rottura a 'cedimento plastico' (b) su douglasia. [Foto Goli]

- e cedimento plastico (tipo B1)
 - n A compressione trasversale prevalente
- e cedimento elastico (tipo C1, C2, C3)
 - e cedimento plastico (tipo D1)
 - 1 Per distacco di materia
 - n A trazione trasversale prevalente e rottura a flessione (tipo E1, E2, E3)
 - n A compressione trasversale prevalente
 - e rottura a trazione longitudinale (tipo F1, F2 var. 1 e 2)
 - 1 In modalità mista
 - n A trazione trasversale prevalente e rottura a flessione (tipo G1)

La classificazione delle "origini meccaniche" sarà in seguito trattata in maniera più dettagliata e integrata dall'analisi comparata con la "classificazione visuale" per stabilire una relazione causa-effetto tra le meccaniche all'origine della formazione dei difetti e dei conseguenti difetti intesi in senso qualitativo.

**di Giacomo Goli¹, Rémy Marchal²,
Luca Uzielli³**

¹ Giacomo Goli: Dottore di ricerca presso il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali dell'Università degli Studi di Firenze e L'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers di Cluny (France).
e-mail: giacomo.goli@poste.it

² Rémy Marchal: Professeur des Universités presso L'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers di Cluny (France).
e-mail: remy.marchal@cluny.ensam.fr

³ Luca Uzielli: professore ordinario di Tecnologia del Legno presso l'Università degli Studi di Firenze.
e-mail: luca.uzielli@unifi.it



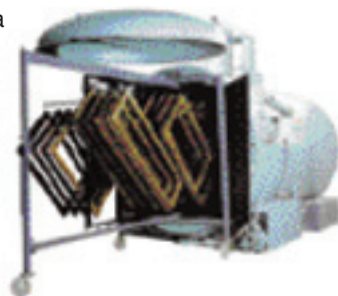
SPRAYMATIC

TRAVATURE PER TETTI • PERLINE • ELEMENTI PER PALIZZATE • ELEMENTI PER CASE PREFABBRICATE • MOBILI DA GIARDINO • PROFILATI IN GENERE

SprayMatic è la spruzzatrice-spazzolatrice automatica per la applicazione di impregnanti, a base di solventi o di acqua, su profilati in legno di sezione rettangolare o sagomata. Passando nella macchina, i pezzi vengono spruzzati con il prodotto impregnante e quindi spazzolati per uniformare la stesura e togliere l'eccesso di prodotto che, filtrato, viene reimpresso nel ciclo di lavorazione. L'avanzamento dei pezzi è regolabile da 10 a 48 metri al minuto. SprayMatic è costruita in acciaio inox e la sua base regolabile permette l'adattamento a linee di lavoro preesistenti. La gamma SprayMatic permette di trattare pezzi della lunghezza minima di 300 mm e dalle sezioni comprese fra 20 x 10 a 300 x 300 mm.

Disponibili anche camere per trattamenti speciali sottovuoto e vuoto-pressione.

Impregnatori e verniciatori sottovuoto per serramenti e travature.



I.S.V.E. Srl
Via San Martino, 39 - 25020 Poncarale (BS) Italy
Tel. 030 2540351 r.a. - Fax 030 2640874
Home page: www.isve.com - E-mail: headoffice@isve.com



FIRMA LA QUALITÀ DEL VOSTRO LEGNO