

GESTIONE FORESTALE SOSTENIBILE IN SARDEGNA: DAL LEGNO AL LEGNAME, LE FUNZIONI DI PROFILO

Roberto Scotti¹, Marco Mura¹, Irene Piredda¹, Sergio Campus¹, Raffaella Lovreglio¹

¹NFS, Nuoro Forestry School, Dipartimento di Agraria, Università di Sassari, Italia; scotti@uniss.it

Lo strumento “funzione di profilo” rappresenta una evoluzione della dendrometria che, per ora, non ha trovato diffusione nel nostro paese, pochi ricercatori si sono dedicati allo sfruttamento di questo strumento, nella didattica è poco diffuso e nella pratica è sconosciuto.

Si è voluto cogliere l'occasione offerta dal progetto EDENSO per documentare una esperienza operativa di impiego di tale strumento, mostrando tutto il percorso di sviluppo ed utilizzazione. A corredo di tale percorso sono stati presentati sia una metodologia atta ad affrontare il problema in un contesto non ancora studiato, sia un algoritmo che, sfruttando le stime sul profilo del fusto, consente di effettuare la scelta e la quantificazione degli assortimenti da produrre.

Al fine di favorire la diffusione di questo strumento e la possibilità di utilizzare la funzione calcolata per il pino marittimo di 40 anni di Pattada (almeno come esempio) i codici in linguaggio R ed i valori dei parametri stimati sono resi facilmente recuperabili accedendo alla specifica pagina disponibile nel sito di “Nuoro Forestry School”: <http://nuoroforestryschool.uniss.it/archivio.html>

Parole chiave: assortimenti legnosi, dendrometria, *Pinus pinaster*.

Keywords: timber assortments, forest mensuration, *Pinus pinaster*.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-rs-ges>

1. Introduzione

Nel contesto regionale sardo, come in gran parte dei boschi in Italia centrale, la produzione legnosa è rappresentata prevalentemente o quasi esclusivamente dalla legna, da materiale utilizzato come risorsa energetica. Le opportunità di produrre assortimenti legnosi per usi diversi (strutturali, infissi, mobili, pali, ...) sono rare ed eventualmente marginali, ritenute non meritevoli di investimenti per incrementarne la competitività. Per questa ragione, tutto il legname utilizzato in Sardegna è attualmente importato (Austria, Germania, Russia, ...). Nell'ambito di una ricerca (EDENSO, Edilizia ed Energia Sostenibile), coordinata da ingegneri edili, si è colta l'occasione per valutare la prospettiva di contribuire, con la filiera corta del legno, alla valorizzazione socio-economica di contesti territoriali tipici dell'ambiente mediterraneo.

L'idea semplice alla base della ricerca è di destinare la porzione migliore dei fusti per produrre assortimenti legnosi a maggiore valore aggiunto (tavole, travi, ...) e complementare tale uso sfruttando il materiale residuo come risorsa energetica. I pannelli di tavole incrociate (x-lam) rappresentano una interessante soluzione al problema posto dalle scarse qualità fisiche e meccaniche del materiale legnoso producibile in Sardegna. I pannelli che ne derivano presentano infatti buone caratteristiche di stabilità dimensionale e elevati valori di resistenza e rigidità.

Il progetto EDENSO, considerando aspetti quali la crescita della specie e la sua diffusione ha concentrato l'attenzione sul pino marittimo (*Pinus pinaster*, Aiton

1789). In effetti, diverse conifere, per varie ragioni legate alle vicende storiche selvicolturali del territorio sardo (Sanfilippo e Vannelli, 1993), rappresentano una importante opportunità per operare nel segno della sostenibilità attraverso la promozione e la pianificazione della filiera del legno strutturale laddove sussistono condizioni idonee (ecologiche e socio-economiche) all'utilizzo produttivo della risorsa territoriale tramite forme opportune di arboricoltura da legno.

Per affrontare operativamente questa prospettiva occorre approntare strumenti atti a rispondere alla domanda: “quanto legname si ricava da questo bosco?” e quindi “a quale età del bosco sarà massimamente proficuo procedere alla rinnovazione del soprassuolo?” (che turno adottare?).

2. Premessa metodologica

Il legname è il prodotto della lavorazione in segheria. È qui che, da topi di tronco si ricavano travi e poi tavole. I fattori che limitano la possibilità di ricavare legname sono molti, a partire dalle caratteristiche del legno e del tronco (marciumi e malformazioni interne), per arrivare alle modalità di accrescimento (entità degli incrementi, caratteristiche dei rami). Non tutti questi caratteri sono prontamente rilevabili su alberi ancora in piedi mentre, a questo livello, è possibile apprezzare con discreta approssimazione sia la forma, sia le dimensioni del fusto. È sulla base principalmente di questi elementi che si sviluppa la stima della quantità di legname ricavabile da un lotto boschivo prima della sua utilizzazione.

Per procedere alla stima occorre definire le dimensioni (sezione di testa e lunghezza) dell'assortimento o degli assortimenti ricercati. In funzione della sezione di testa, o delle sezioni volute, considerando spessori aggiuntivi che tengono conto di ritiri e refilature ed includendo perdite inevitabili (strada della sega, margini di sicurezza), si ipotizzano schemi di taglio ottimali in funzione del diametro di testa del toppe (Fig. 1). È stata sviluppata una procedura di calcolo per valutare, in funzione del diametro del fusto e della sezione di testa dell'assortimento, il numero di pezzi ricavabili e la "resa", la quota di sezione del toppe effettivamente utilizzata. Sulla base di questo ultimo indicatore, è possibile stabilire quale tra i diversi assortimenti eventualmente ricercati è più conveniente ricavare in funzione del diametro di testa del toppe considerato. Stabilito il diametro della sezione circolare necessaria a contenere lo schema individuato occorre poi verificare che, per una porzione ragionevolmente rettilinea di fusto, il diametro sia sufficiente e sia possibile ricavare un toppe di lunghezza adatta all'assortimento ricercato. Nella pratica, effettuando la valutazione in bosco su singoli fusti, si procede dal basso individuando la sezione di base del primo toppe e, considerando la lunghezza dell'assortimento più esigente, si misura o si stima il diametro superiore del toppe da ricavare. Infine si valuta (in base alla "resa") l'opportunità di destinare il toppe a tale assortimento. Il procedimento si applica poi al secondo ed agli eventuali successivi toppe. Il problema si concentra quindi nella capacità di determinare il diametro ad una qualsiasi altezza lungo il fusto. La relazione che lega diametro ed altezza lungo il fusto è detta funzione di profilo o taper function (funzione di rastremazione) nella letteratura anglosassone. Il lavoro presenta metodi e strumenti sviluppati ed impiegati per stime assortimentali con diverso grado di approssimazione.

3. Materiali

Il progetto EDENSO prevede di arrivare a definire le regole necessarie per la classificazione certificata delle tavole ad uso strutturale ricavate dal pino marittimo della Sardegna. Per sviluppare questo lavoro e la successiva verifica delle caratteristiche dei pannelli assemblati con tavole classificate, era necessario ricavare materiale da almeno due popolamenti distinti.

Grazie alla collaborazione del Comune di Pattada (SS), sono stati indagati due popolamenti, uno a circa 450 m s.l.m l'altro a circa 900 m s.l.m., impiantati a metà anni '80 nel quadro di una stessa progettazione. I popolamenti sono stati soggetti ad interventi intercalari ma, in assenza di un piano di gestione, modalità ed intensità dei diradamenti sono state molto varie.

Le condizioni stazionali e paesaggistiche, in entrambe le località, sono tali da rendere proponibile l'ipotesi del taglio a raso e rinnovazione artificiale, per tratti di ampiezza ragionevole. Le possibilità economiche del progetto non hanno però consentito di procedere secondo tale ipotesi ottimale. Quindi, tramite analisi dettagliate delle strutture presenti, sono stati individuati fusti adatti a produrre le tavole di diverse dimensioni

necessarie al progetto, cercando di contenere al massimo possibile il prelievo da effettuare. In conclusione sono stati abbattuti 82 alberi, distribuiti tra le due località. In Tabella 1 è sintetizzata la distribuzione ipsodiametrica dei fusti oggetto di indagine.

4. Metodi

Nel seguito sono illustrati metodi e strumenti sviluppati ed impiegati per produrre le stime assortimentali necessarie al progetto EDENSO.

In particolare si espone (i) una metodologia di stima della funzione di profilo individuale basata su rilievi specifici, (ii) la funzione di profilo calibrata per il pino marittimo di 40 anni di Pattada e (iii) l'algoritmo di caratterizzazione dello schema di taglio ottimale, citato in premessa.

4.1 Metodologia di stima della funzione di profilo individuale basata su rilievi specifici

In assenza di studi già maturati e quindi non disponendo di una funzione di profilo calibrata per il contesto in esame, per procedere alla stima è necessario individuare quantomeno un campione di fusti e procedere alla loro caratterizzazione assortimentale mediante specifici rilievi. Le tecniche oggi disponibili per il rilievo del profilo di un fusto in piedi sono numerose, dalle sofisticate tecniche che fanno ricorso al laser agli strumenti ottici di precisione di derivazione topografica ed ingegneristica. Il cavalletto parabolico rappresenta un'alternativa a basso costo di tradizione nordica (da cui il nome cavalletto finlandese) (Fig. 2). Si è potuto verificare che ricorrendo alla misura dell'altezza totale e a misure effettuate con il cavalletto finlandese e con il cavalletto convenzionale ad altezze standard (probabile sezione taglio, 130, 200, 400 e 600 cm) è possibile ottenere una ottima funzione di profilo per lo specifico fusto considerato.

L'approccio che ha prodotto i risultati di maggiore soddisfazione è stato quello basato su interpolazioni spline che fanno riferimento al metodo proposto da Hyman (1983): *Accurate monotonicity preserving cubic interpolation*. Nell'ambiente statistico R (R Core Team, 2014), questo approccio è reso disponibile nella funzione *spline()* tramite il parametro *method* (pacchetto *stats*). La verifica della accuratezza della funzione individuale è stata effettuata rilevando il profilo del fusto una volta abbattuto. Il confronto ha in realtà messo in evidenza la necessità di effettuare una accurata taratura del procedimento di lettura del diametro del fusto con il cavalletto finlandese. Il grafico in Figura 3 presenta un confronto rappresentativo della situazione di maggiore frequenza.

4.2 La funzione di profilo per il pino marittimo di 40 anni di Pattada

In letteratura il problema della modellizzazione matematico-statistica delle funzioni di profilo è stato ampiamente trattato, a partire dal molto citato lavoro di Hojer (1903), ma non ha trovato significativa convergenza. Kozac (2004), avendo pubblicato molto in proposito, traccia uno sviluppo storico dello strumento

e si propone di scrivere le sue “ultime parole” in proposito. In realtà anche Rojo *et al.* (2005), trattando in particolare il pino marittimo, non hanno individuato una soluzione nettamente vantaggiosa. L’analisi di questo tipo di dati presenta infatti difficoltà specifiche: le osservazioni elementari non possono essere considerate tra loro indipendenti essendo le misure di diametro su uno stesso fusto, ovviamente, molto correlate.

Kublin e Breidenbach (2013) hanno recentemente sviluppato un approccio particolarmente rigoroso ed interessante alla analisi di rilievi di profili arborei. Il metodo si basa su un “modello regressivo B-spline ad effetti misti”. Dal punto di vista algebrico l’approccio è piuttosto complesso, difficile da implementare in autonomia. Il problema è tuttavia perfettamente risolto avendo gli autori pubblicato il pacchetto di funzioni per l’ambiente R denominato “TapeR” (Kublin *et al.*, 2013). Questo include funzioni sia per la calibrazione del modello che per il suo impiego nelle stime. A complemento dei profili stimati il pacchetto consente anche di determinare l’accuratezza dei valori prodotti. La complessità dell’approccio adottato, non consente di documentare in termini facilmente riproducibili il risultato del processo di calibrazione. Per rendere tale risultato utilizzabile a chi fosse interessato i valori dei parametri del modello sono messi a disposizione, nel formato richiesto dal pacchetto “TapeR”, sul sito web di NuoroForestrySchool¹.

I grafici in Figura 4 esemplificano il comportamento del modello. Per rendere direttamente confrontabili profili derivati da fusti con diverse dimensioni (diametriche e/o di altezza) si adotta un sistema di riferimento relativo: il diametro del profilo viene rappresentato dal rapporto tra “diametro sezione” e “diametro a petto d’uomo”, l’altezza dal rapporto tra “distanza dalla cima” e “altezza totale meno 1.3 m”.

4.3 Algoritmo di caratterizzazione dello schema di taglio ottimale

L’algoritmo sviluppato, anch’esso implementato per l’ambiente statistico R, è codificato in una funzione denominata *AssortmentCrossSectionAllocation* (Fig. 5). In base ai parametri in ingresso, attraverso una sequenza di operazioni algebriche di geometria elementare, tale funzione individua la massima sezione rettangolare utile per ricavare le tavole per un dato assortimento. Stabilita la sezione, al netto delle perdite di produzione (ritiri, refilature, ...), è determinato il numero di tavole e l’indicatore di “resa” massima ipotizzabile (rapporto area sezione rettangolare, area sezione toppo sotto corteccia). I principali parametri in ingresso richiesti dall’algoritmo sono: (i) il diametro sopra corteccia, che si suppone valutato in corrispondenza della sezione di testa del toppo (teorico, stimato sul fusto in piedi, o reale, misurato sul fusto a terra), (ii) la sezione di testa dell’assortimento ricercato, larghezza e spessore della tavola. Vi sono poi parametri opzionali (spessore della corteccia, eventuale margine di sicurezza e strada della sega) da utilizzare per adattare la stima a condizioni

specifiche. Operativamente l’algoritmo presenta una duplice utilità. Consente di comporre tabelle da utilizzare in bosco, nel corso della stima preliminare, per scegliere tra sezioni alternative e quindi decidere in che modo utilizzare un dato fusto, in base alla “resa” prevista vuoi da assortimenti alternativi, vuoi da posizioni di taglio alternative.

Nella successiva fase di elaborazione, utilizzando eventualmente misure di maggiore dettaglio, la funzione consente di tenere la contabilità delle tavole prodotte, per ciascun tipo di assortimento, nel bosco esaminato.

5. Conclusioni

Lo strumento “funzione di profilo” rappresenta una evoluzione della dendrometria che, per ora, non ha trovato diffusione nel nostro paese, pochi ricercatori si sono dedicati allo sfruttamento di questo strumento, nella didattica è poco diffuso e nella pratica è sconosciuto.

Si è voluto cogliere l’occasione offerta dal progetto EDENSO per documentare una esperienza operativa di impiego di tale strumento, mostrando tutto il percorso di sviluppo ed utilizzazione. A corredo di tale percorso sono stati presentati sia una metodologia atta ad affrontare il problema in un contesto non ancora studiato, sia un algoritmo che, sfruttando le stime sul profilo del fusto, consente di effettuare la scelta e la quantificazione degli assortimenti da produrre.

Al fine di favorire la diffusione di questo strumento e la possibilità di utilizzare la funzione calcolata per il pino marittimo di 40 anni di Pattada (almeno come esempio) i codici in linguaggio R ed i valori dei parametri stimati sono resi facilmente recuperabili accedendo alla specifica pagina disponibile nel sito di “Nuoro Forestry School”:

<http://nuoroforestryschool.uniss.it/archivio.html>

Tabella 1. Rilievo dei profili, distribuzione ipso-diametrica dei fusti.

Table 1. Measured stem profiles, frequencies by dbh and height classes.

Numero fusti rilevati				
<i>d130h_tot</i>	12	15	18	21
20		1		
30	1	5	18	1
40		4	37	10
50			2	2

¹ <http://nuoroforestryschool.uniss.it/archivio.html>

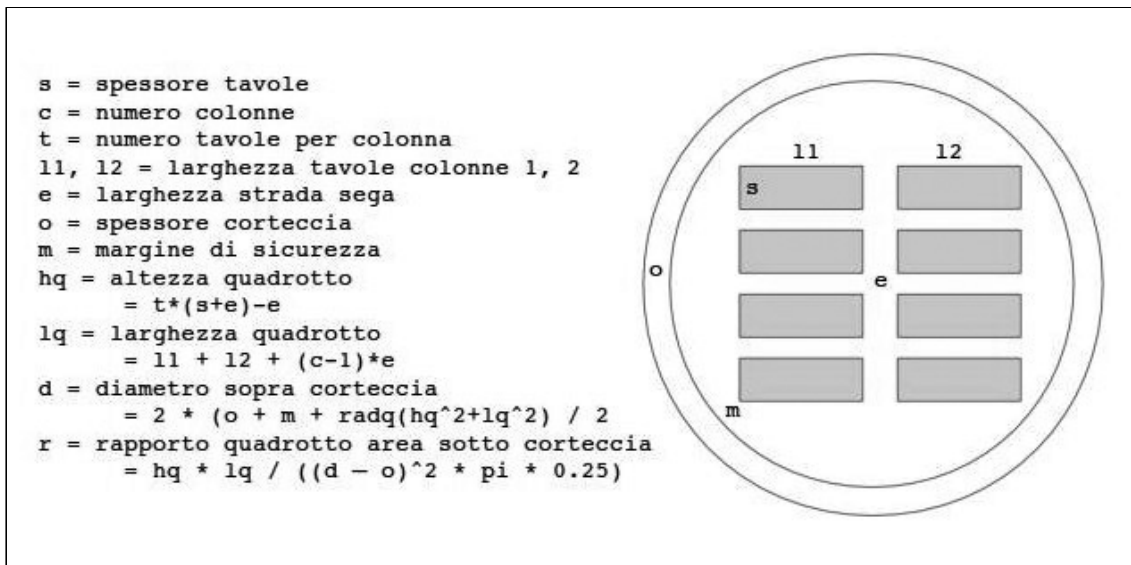


Figura 1. Ipotesi di schema di taglio calcolato massimizzando il numero di tavole ricavabili, per un dato assortimento, in funzione del diametro di testa del toppe.

Figure 1. Hypotesis of sawing pattern computed maximizing the number of boards, of a given assortment, as a function of bole cross-section.



Figura 2. Utilizzo del “cavalletto finlandese” nella misurazione di un diametro in alto.

Figure 2. Measurement of an upper diameter using the “Finnish parabolic caliper”.

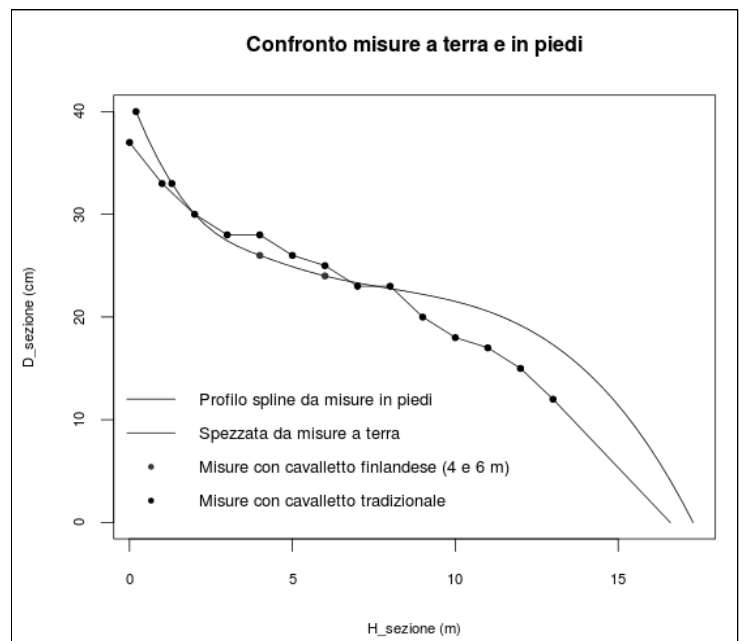


Figura 3. Verifica del profilo stimato sul fusto in piedi per confronto con il rilievo dopo l’abbattimento.

Figure 3. Verifying stem profile estimated before felling compared to mesurements taken on the laying stem.

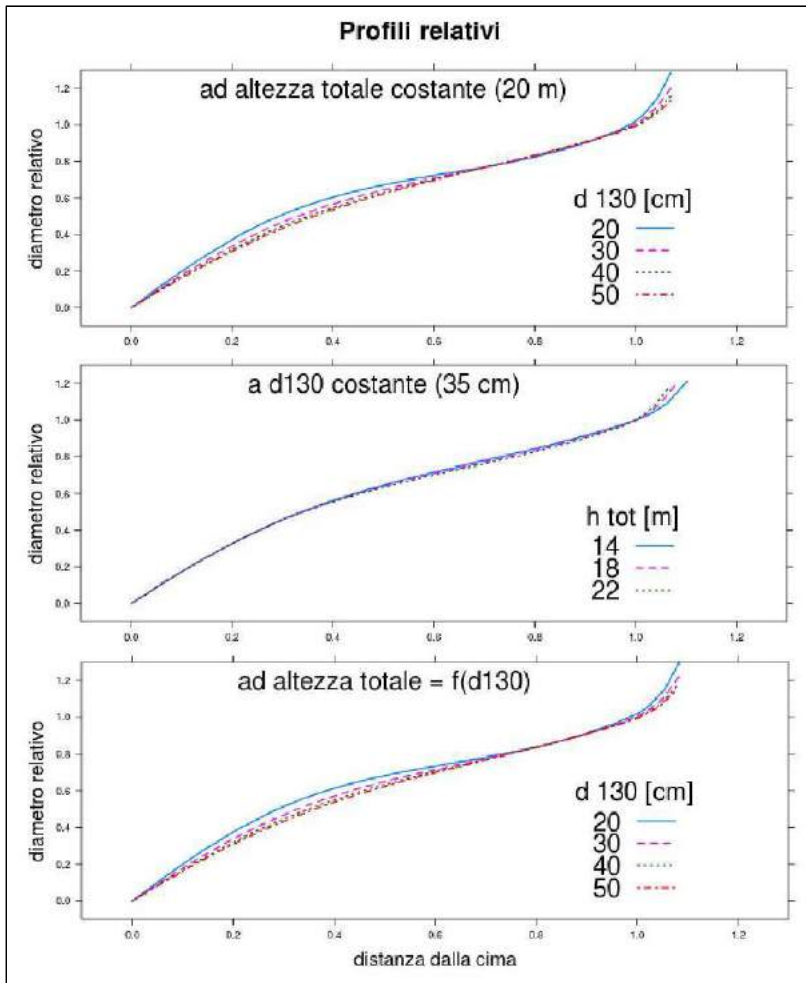


Figura 4. Confronto tra profili calcolati utilizzando la funzione di profilo prodotta.
 Figure 4. Comparison among stem profiles computed using the estimated taper function.

```
AssortmentCrossSectionAllocation <- function(d_min, thickness, width,
bark=20, margin=0, saw=5)
{
  o <- bark # spessore corteccia
  m <- margin # margine di sicurezza
  e <- saw # larghezza strada sega

  s <- thickness # spessore tavole
  l <- width # larghezza tavole
  diag <- sqrt(s^2 + l^2)
  du <- d_min - o - m # diametro utile
  lqi <- du / sqrt(2) # lato del quadrato inscritto
  c <- r <- u <- rep(NA, 3)
  u_max <- 1
  if (diag <= du) {
    c[1] <- floor((lqi + e) / (l + e)) # numero colonne
    if (c[1] >= 0) c[2] <- c[1] + 1
    if (c[1] > 1) c[3] <- c[1] - 1
    for (i in 1:3) {
      lq <- c[i] * (l + e) - e # larghezza del quadrotto
      if (!is.na(c[i]) && lq < du) {
        ari <- sqrt(du^2 - lq^2) # altezza rettangolo inscritto
        r[i] <- floor((ari + e) / (s + e)) # numero righe
        hq <- r[i] * (s + e) - e # larghezza quadrotto
        u[i] <- hq * lq / ((d_min - o)^2 * pi / 4) # rapporto aree
      }
    }
    u_max <- match(max(u, na.rm=T), u)
  }
  return(list(d_min=d_min, thickness=thickness, width=width,
n_col=c[u_max], n_row=r[u_max], residual=u[u_max]))
}
```

Figura 5. Codifica in linguaggio R dell'algoritmo sviluppato per valutare quante tavole è possibile ricavare, per un assortimento dato, nota la sezione minima del toppe.

Figure 5. R language code implementing the algorithm that maximises the number of boards, of a given assortment, as a function of bole cross-section.

SUMMARY

Sustainable forest management in Sardegna: from wood to timber, the role of taper functions

Taper functions are advanced forest mensuration tools that, for now, have not found spread in our country, few researchers have devoted attention to exploit it, in the teaching it is not widespread and in the operational world it is unknown. Taking the opportunity offered by the project EDENSO, the paper documents an operational experience of use of the tool, showing the whole path of development and utilization. In support of this path are presented both a methodology to tackle the problem in a context not yet studied and an algorithm that, using estimates of the profile of the bole, aids in choosing and quantification of the assortments to produce with that bole. In order to encourage the spread of this tool and the ability to use the function calculated for the maritime pine of 40 years of Pattada (at least as an example) the procedures and functions as well as the values of the estimated parameters, all coded in R language, are easily recoverable from the specific page available at "Nuoro Forestry School":
<http://nuoroforestryschool.uniss.it/archivio.htm>.

BIBLIOGRAFIA

Hojer A., 1903 – *Growth of Scots pine and Norway spruce*. Stockholm, Bilaga till. Loven, F.A. om vara barrskorlar, pp. 87-120.

- Hyman J.M., 1983 – *Accurate monotonicity preserving cubic interpolation*. SIAM J. Sci. Stat. Comput., 4: 645-654.
<http://dx.doi.org/10.1137/0904045>
- Kozak A., 2004 – *My last words on taper equations*. The Forestry Chronicle, 80:507-515.
<http://dx.doi.org/10.5558/tfc80507-4>
- Kublin E., Breidenbach J., 2013 – *TapeR - Flexible tree taper curves based on semiparametric mixed models*. R-package version 0.3.0. Available on CRAN:
<http://cran.r-project.org/web/packages/TapeR/>
- Kublin E., Breidenbach J., Kaendler G., 2013 – *A flexible stem taper and volume prediction method based on mixed-effects B-spline regression*. European Journal of Forest Research, 132: 983-997.S.
- R Core Team, 2014 – *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
<http://www.R-project.org/>
- Rojo A., Perales X., Sanchez-Rodriguez F., Alvarez-Gonzalez J.G., von Gadow K., 2005 – *Stem taper functions for maritime pine (Pinus pinaster Ait.) in Galicia (Northwestern Spain)*. European Journal of Forest Research, 124: 177-186.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10342-005-0066-6>
- Sanfilippo E., Vannelli S., 1993 – *Indagine sui risultati tecnici, economici e sociali dei rimboschimenti in Sardegna*. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Difesa dell'Ambiente, Cagliari (Relazione finale convenzione registrata 20.05.1992 n. 3416).