



**crea**

Consiglio per la ricerca in agricoltura  
e l'analisi dell'economia agraria

Centro di ricerca

Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari

## **Task 2.4 e 2.5 progetto AGROENER**

# **Biomasse legnose residuali: dal bosco alla città**

**Marcello Biocca\* , Giuseppe Pignatti  
Giulio Sperandio, Rita Aromolo, Stefano Verani,  
Emanuele Presutti Saba**

*Convegno finale del progetto  
Roma, 29 e 30 novembre 2023*

# Le biomasse legnose residuali

## Dal bosco

- sottoprodotti della lavorazione del legno (segherie, mobilifici): non considerati nel lavoro
- componente priva di valore commerciale delle **utilizzazioni** (cimali, ramaglie, fogliame, talvolta ceppaie e radici)
- **piante intere** abbandonate in bosco
- **potenziale, a livello globale, quasi pari a quello dei residui della trasformazione: 371K t vs 406K tons (2017, World Bioenergy Association)**

## Dal verde urbano

- i residui dei lavori di **potatura** degli alberi di parchi, giardini e alberature stradali
- gli **alberi abbattuti**
- aumento della disponibilità totale di **biomasse di facile utilizzazione (filiera corta)** e l'utilizzazione energetica della biomassa di origine urbana si avvantaggia della vicinanza della fonte
- attuale destinazione principale: **discarica**, con un aggravio di costo a carico dei proprietari

## Obiettivi del lavoro

- Analisi tecnica ed economica dei cantieri di utilizzazione della biomassa
- Componenti di sostenibilità ambientale
- Stima della loro potenzialità di utilizzo

# Dal bosco alla città

## Gli ambiti di lavoro

### Bosco/Rimboschimento



*P. radiata*, Sardegna

### Bosco peri-urbano



*P. pinea*, Castelporziano

#### Operazioni:

abbattimento, allestimento e esbosco

#### Modalità di lavoro:

legno corto (SWS)

albero intero (WTS)

**Cantieri: eucalipto, pino radiata, pino domestico**

### Parco urbano



*P. pinea*, Monte Antenne

### Alberatura stradale



*C. atlantica*, Roma

#### Operazioni:

potatura, abbattimento

#### Modalità di lavoro:

- piattaforma elevabile (PLE)

- tree-climbing (TC)

**33 cantieri di lavoro**

## Siti di indagine

- 33 cantieri urbani (14 specie botaniche)
- Castellina Marittima (PI) – **ceduo di querce**, 6 ha, Arzana (NU) – **pino radiata**, in ~ 800 ha, aree di saggio circa 0.5 ha, Roma (Casalotti) – **pioppeto** tradizionale, (~ 1 ha) e SRF, (~ 3 ha), ceduo di **eucalipto** in ~ 4 ha, aree di saggio circa 0.2 ha, piantagione **pino radiata**, in ~ 4 ha - Roma (Castelporziano) – **pino domestico**, particelle di ~ 25 ha

## Analisi dei tempi di lavoro

- Tabella cronometrica (4 cronometri e un contatore)
- Riprese video

## Rilievi dendrometrici, selvicolturali e del parco macchine

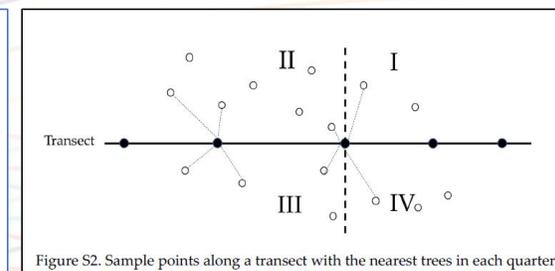
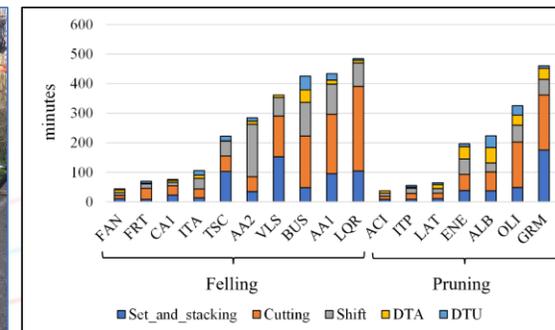
- Metodo PCQ
- Clinometro laser (TruPulse 360R ), rotella o cavalletto dendrometrici

## Analisi degli impatti al suolo e delle emissioni

- Classificazione degli impatti al suolo McMahon (1995)
- Penetrometro digitale Eijkelkamp

## Modellizzazioni

- Regressione multipla lineare (MLR) SPSS

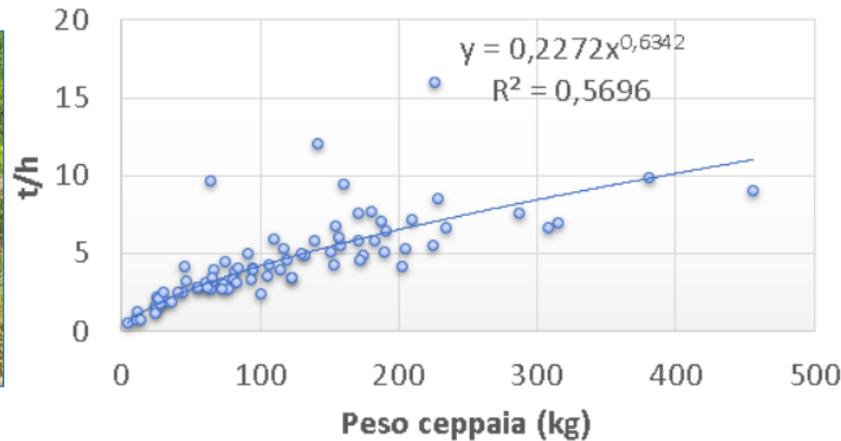


## Risultati 1/7

### Ceduo di eucalipto SWS vs. WTS

Tradizionale (short wood system - SWS) e innovativo (whole tree system - WTS)

WTS Produttività (t/h)

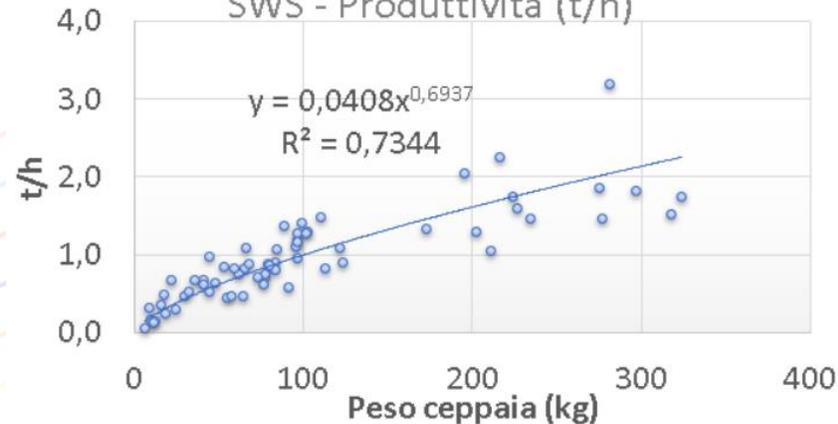


**SWS** Produttività  
1,07 t/h/operatore

Costi utilizzazione  
30,78 €/t

- Ricavi maggiori (circa 400 €/ha) con sistema dell'albero intero grazie alla produttività circa 4 volte superiore
- Benefici ambientali del prelievo della ramaglia:

SWS - Produttività (t/h)



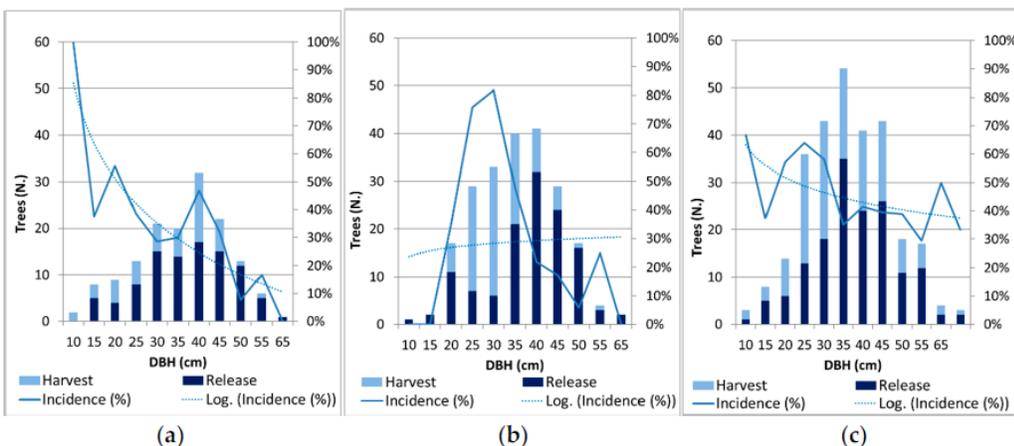
**WTS** Produttività  
4,68 t/h/operatore

Costi utilizzazione  
28,59 €/t

minor rischio di incendio e migliori condizioni di rinnovazione per le specie native

## Rimboschimento di pino insigne in Sardegna

### WTS, confronto trattamenti (2 tipi di diradamento e taglio di rinnovazione)



| Intervention Type          | Working Phases | Medium Weight (t) | Working Productivity (t h <sup>-1</sup> ) | Cost (EUR t <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|
| Systematic Thinning (SYT)  | Felling        | 1.33              | 5.42                                      | 6.53                        |
|                            | Extraction     | 1.79              | 6.03                                      | 18.80                       |
|                            | Processing     | 1.33              | 11.66                                     | 7.00                        |
| Selective Thinning (SET)   | Felling        | 0.83              | 4.35                                      | 8.09                        |
|                            | Extraction     | 1.39              | 3.57                                      | 36.05                       |
|                            | Processing     | 0.83              | 8.59                                      | 4.15                        |
| Regeneration Felling (REF) | Felling        | 1.11              | 4.86                                      | 7.24                        |
|                            | Extraction     | 1.84              | 4.14                                      | 31.01                       |
|                            | Processing     | 1.11              | <b>16.54</b>                              | 4.92                        |

### Costi del cantiere di utilizzazione medi 35-45 €/t

- Vantaggio economico-sociale per trattamento di rinnovazione che produce assortimenti di maggior valore (riduzione dei costi fino a 25% in più, filiera del pallet locale)
- Riduzione del rischio di incendio in piantagioni di conifere altamente sensibili per rimozione residui di ramaglia

## Risultati 3/7

### Bosco periurbano, pino domestico

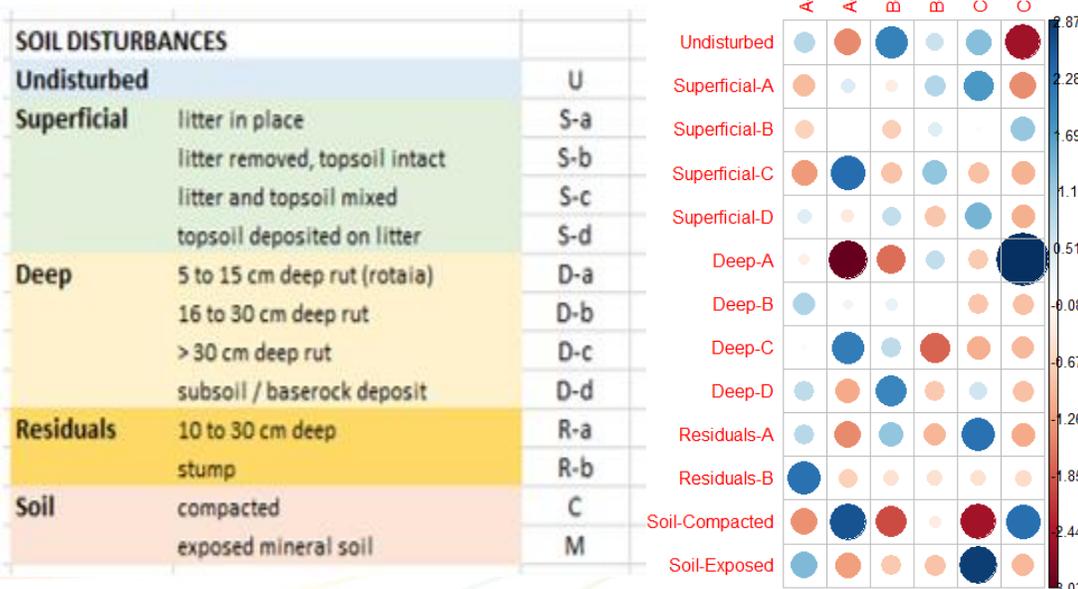
#### Diradamento, analisi dei disturbi al suolo mediante valutazione visiva (MacMahon)



Foto 3. Feller-buncher John Deere 959J con testa abbattitrice con sega a disco.



Foto 4. Forwarder John Deere 1410 D in fase di esbosco.

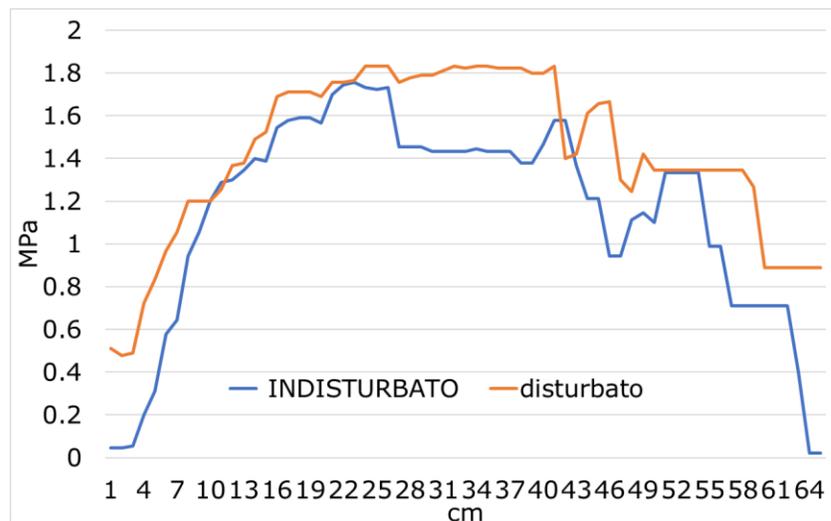


La meccanizzazione spinta sembra provocare due effetti contrastanti

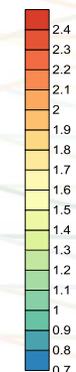
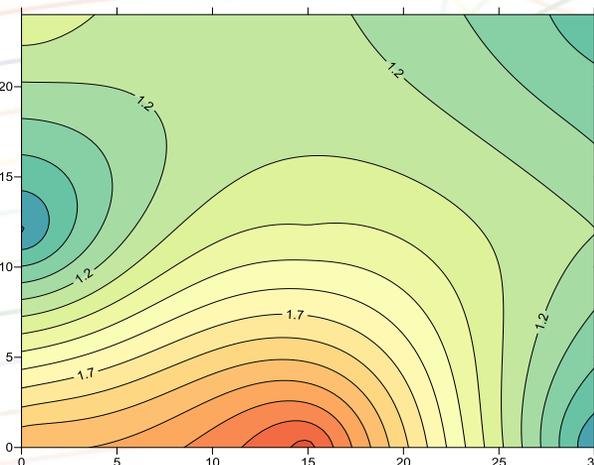
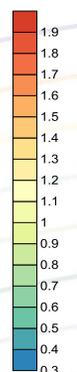
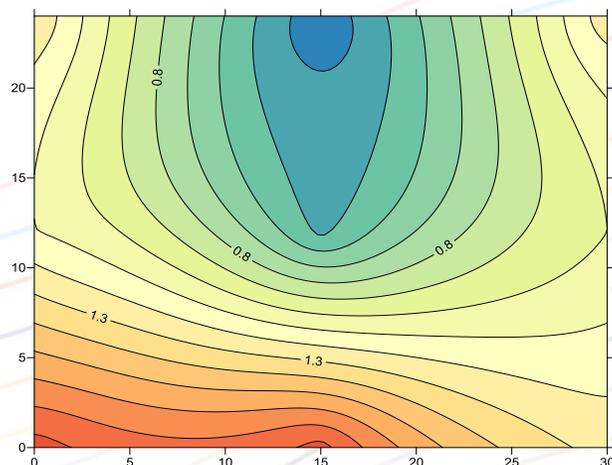
- (1) Maggiori aree disturbate superficialmente e compattate
- (2) Possibile impatto positivo sulla rinnovazione (ad esempio dalla banca dei semi del suolo) bloccata dalla copertura dello strato arboreo e dall'accumulo lettiera non decomposta

## Bosco periurbano, eucalipto

### Diradamento, analisi del compattamento del suolo mediante penetrometro

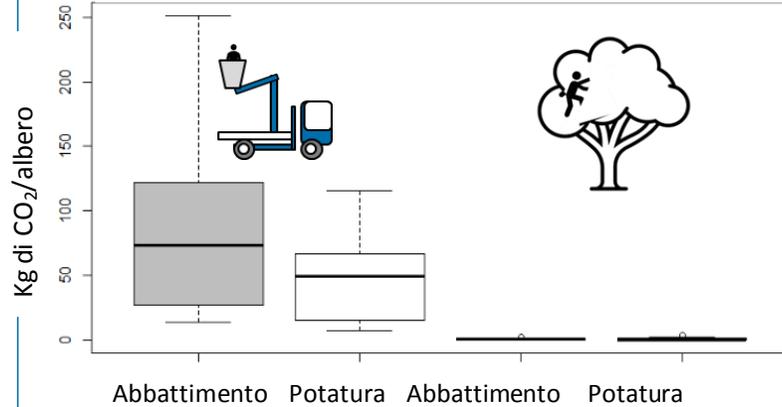


In questo caso il compattamento misurato è ben evidente, con un particolare intensità tra i 30-40 cm di profondità

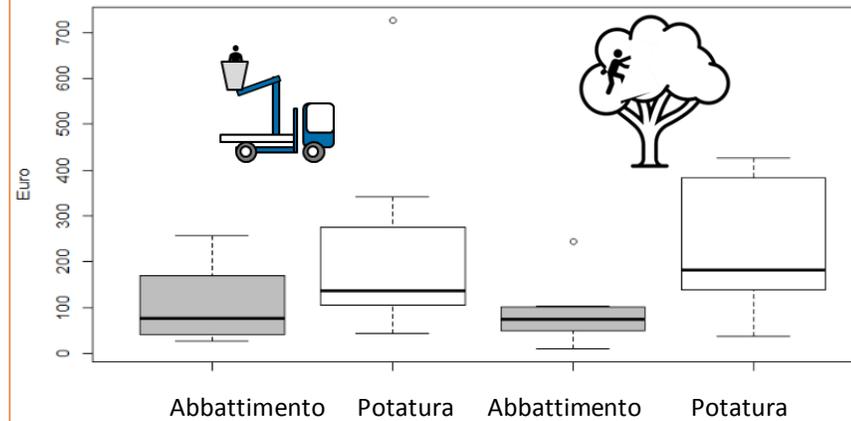


## Verde urbano – emissioni e costi

Emissioni di CO<sub>2</sub> del cantiere per albero



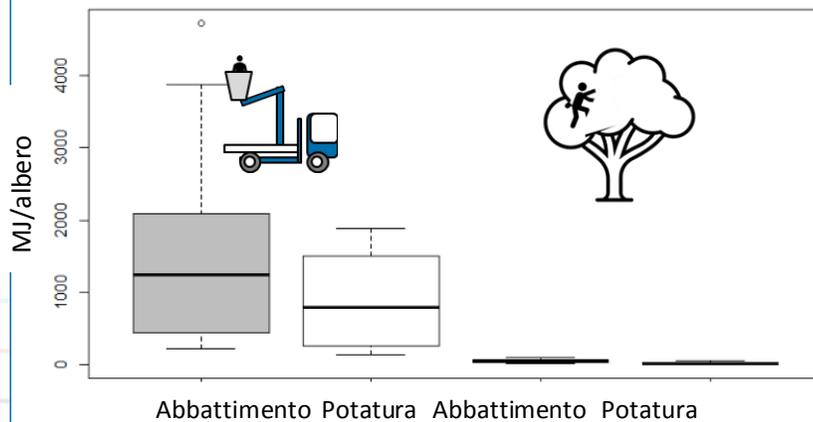
Costo € per tonnellata



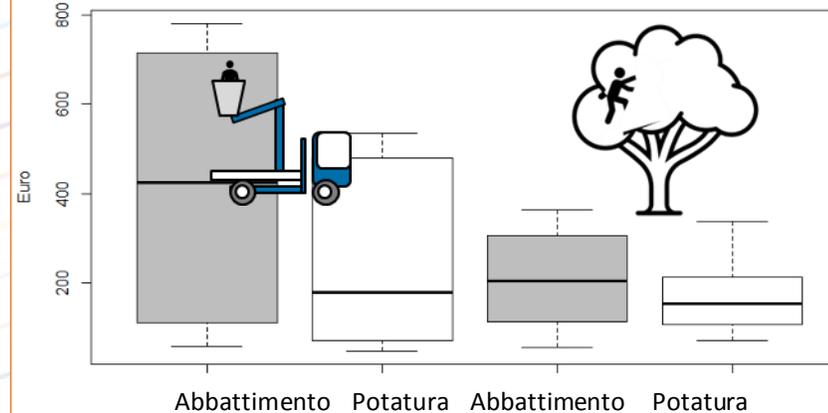
I costi degli interventi con PLE e in tree-climbing sono confrontabili, ma con un netto vantaggio a favore del TC in termini di emissioni.

Presenza di cantieri PLE da considerare outlier

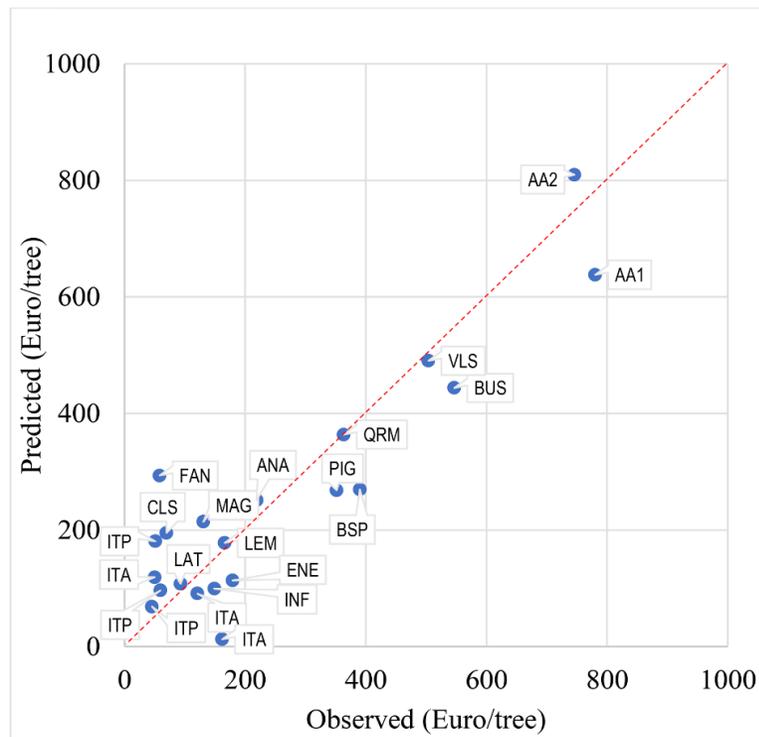
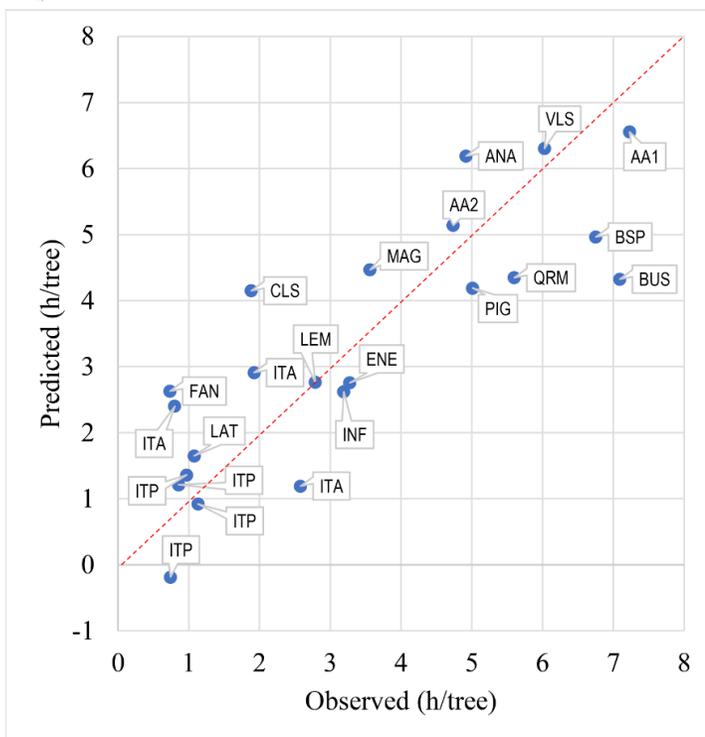
MJ di energia consumata dal cantiere per albero



Costo € per albero



## Verde urbano – *Pinus pinea*



Un modello di regressione multipla lineare consente di stimare i costi e i tempi, grazie a dei regressori conosciuti prima dell'inizio dei lavori

| Variabili indepenti                             | Tempo lordo (h albero <sup>-1</sup> ) | Costo (€ albero <sup>-1</sup> ) |
|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Sistema di lavoro                            | 4.05259                               | 350.456                         |
| 2. Altezza dell'albero                          | 0.29182                               | 56.041                          |
| 3. Distanza dal punto della biomassa            | 0.05967                               | -9.566                          |
| 4. Numero degli operatori                       | -                                     | 207.180                         |
| 5. Tipo di operazione (potatura o abbattimento) | 1.80054                               | -                               |
| 6. Diametro della chioma                        | 0.43693                               | -                               |
| Costante  | -9.52938                              | -1751.359                       |
| R <sup>2</sup>                                  | 0.70                                  | 0.82                            |
| R <sup>2</sup> aggiustato                       | 0.60                                  | 0.78                            |
| Significatività Anova                           | p<0.01                                | p<0.01                          |

### Stima della biomassa potenziale dal verde urbano di Roma



|                     |    | Yearly tree mortality (tons) |        |        |        |        |
|---------------------|----|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     |    | 0.5%                         | 1.0%   | 1.5%   | 2.0%   | 2.5%   |
| Pruning cycle years | 19 | 15,792                       | 22,604 | 29,417 | 36,229 | 43,042 |
|                     | 16 | 17,475                       | 24,288 | 31,100 | 37,913 | 44,725 |
|                     | 13 | 19,936                       | 26,749 | 33,561 | 40,373 | 47,186 |
|                     | 10 | 23,873                       | 30,686 | 37,498 | 44,311 | 51,123 |
|                     | 7  | 31,185                       | 37,997 | 44,810 | 51,622 | 58,435 |

Produzione potenziale annua in funzione della mortalità e della frequenza di potatura

**Stima approssimativa poiché l'inventario degli alberi urbani non è completo.**

**Sono auspicabili sviluppi nei metodi di ricerca su metodi più accurati ed efficienti per quantificare e stimare gli alberi e la biomassa urbani.**

1. La **crisi climatica** impone lo sviluppo di energie rinnovabili
2. Esiste **convenienza economica** dell'utilizzo dei residui
3. Tuttavia i risultati dipendono strettamente dal **contesto operativo locale** ed è difficile generalizzare acriticamente le conclusioni
4. Sono da considerare fattori quali gli **indicatori di biodiversità** (es., sulla rinnovazione, sui quantitativi minimi di rilascio dei residui, sul legno morto), delle **condizioni del suolo** (umidità, fertilità, giacitura) o dei **valori sociali** legati al rilascio dei residui (es., in relazione allo sviluppo di prodotti non legnosi e dell'estetica)
5. Come prevedibile, i **costi unitari della biomassa** stimati differiscono nettamente tra i lavori in bosco e in città. Entrambi i dati sono utili alla **progettazione di filiere** di utilizzazione di mix di biomassa residuale a fini energetici.
6. Questi fattori potrebbero essere convenientemente recepiti in **linee guida** dove far confluire la conoscenza scientifica, indicazioni gestionali, esperienza operativa, politiche ed aspettative sociali, a completare le prescrizioni di massima e polizia forestale da sole inadeguate
7. Le linee guida potrebbero infine aiutare a garantire degli **standard elevati misurabili ed accettabili** richiesti dai diversi **schemi di certificazione**.

### Publicazioni internazionali

1. Biocca, M., Gallo, P., Sperandio, G. (2023). WORK TIME STUDY, PRODUCTIVITY AND COSTS OF FELLING TREES IN URBAN AREAS. **Lecture Notes in Civil Engineering** Volume 337 LNCE, Pages 363 – 372. 12th AIIA 2022 Palermo 19-22 September 2022.
2. Biocca, M., Gallo, P., Sperandio, G. (2022) POTENTIAL AVAILABILITY OF WOOD BIOMASS FROM URBAN TREES: IMPLICATIONS FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF MAINTENANCE YARDS. **Sustainability**, 14, 11226. Biocca, M., Gallo, P., Sperandio, G. (2021) TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF STONE PINE (*PINUS PINEA* L.) MAINTENANCE IN URBAN AREAS. **Trees, Forest and People**, 6, 100162.
3. Biocca, M.; Gallo, P.; Sperandio, G. (2021) TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF STONE PINE (*PINUS PINEA* L.) MAINTENANCE IN URBAN ENVIRONMENTS. **Environ. Sci. Proc.** 2021, 3, 16.
4. Biocca M., Gallo P., Sperandio G. (2020) TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF URBAN TREES PRUNING BY CLIMBING ARBORISTS. In: Coppola A., Di Renzo G., Altieri G., D'Antonio P. (eds) Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production. MID-TERM AIIA 2019. **Lecture Notes in Civil Engineering**, vol 67, 653-660, Springer, Cham.
5. Picchio R., Pignatti G., Marchi E., Latterini F., Benanchi M., Foderi C., Venanzi R., Verani S., 2018. THE APPLICATION OF TWO APPROACH METHODS USING GIS TECHNOLOGY IMPLEMENTATION ON FOREST ROAD NETWORK PLANNING IN AN ITALIAN MOUNTAIN SETTING. **Forests**, 9, 277.
6. Pignatti G., Facciotto G., Incollu G., Maltoni S., Marongiu M., Sperandio G., Verani S., Puxeddu M., 2021. SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN RADIATA PINE PLANTATIONS: A CASE STUDY IN SARDINIA (ITALY). **Environ. Sci. Proc.** 2021, 3, 51.
7. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2022. MODELS FOR ECONOMIC EVALUATION OF SILVICULTURAL INTERVENTIONS IN RADIATA PINE PLANTATIONS IN ITALY. **Forests**, 13(9), 1377.
8. Biocca M., Bianchini L., Gallo P., Caffaro F.; Cavallo E., Cecchini M. (2022) A SURVEY ON SAFETY AMONG TREE-CLIMBER PROFESSIONAL ARBORISTS. In: Biocca M. et al., (eds) **Lecture Notes in Civil Engineering**, vol 252, 357-364.

### Publicazioni divulgative

1. Biocca, M., Gallo, P., Imperi G., Sperandio, G. (2022) PRODUTTIVITÀ E COSTI DI CANTIERI PER LA GESTIONE DEGLI ALBERI IN CITTÀ. **Terra è Vita**. Supplemento, 36, 34-35.
2. Biocca M. (2022) CANTIERI DI LAVORO PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEL VERDE. **CreaFuturo** n° 4. On-line <https://creafuturo.crea.gov.it/>.
3. Biocca M. (2021) CANTIERI DI POTATURA E ABBATTIMENTO DEGLI ALBERI IN CITTÀ. **Mondo Macchina – Machinery World**, 12, 4-8.
4. Biocca M., Gallo P., Mattei P., Sperandio G. (2021) GESTIONE DEL PINO DOMESTICO IN CITTÀ. **Sherwood**, 255, 33-37.
5. Aromolo R., Gallo P., Imperi G., Biocca M. (2021) VALUTAZIONE DI PARAMETRI QUALITATIVI NELLA BIOMASSA LEGNOSA DI QUERCUS ILEX A CASTELPORZIANO: PRIMI RISULTATI. In “Il Sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo” **Scritti e documenti LXII Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL**, in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. 603-613. ISBN 978-88-98075-42-3, ISSN 03-91-4666.
6. Verani S., Calienno L., Pignatti G., Sperandio G., 2017. ESBOSCO DI LEGNA DA ARDERE A SOMA CON TRATTORE. UN CASO DI STUDIO SU PRODUTTIVITÀ E COSTI. **Sherwood**, 230: 35-38.
7. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2019. PRODUZIONE DI LEGNA DA ARDERE DA CEDUI DI EUCALIPTO A TURNO BREVE: PRODUTTIVITÀ DI LAVORO E COSTI. **L'Italia Forestale e Montana / Italian Journal of Forest and Mountain Environments**, 74 (4): 217-226, <http://ojs.aisf.it/index.php/ifm/article/view/1144>
8. Pignatti G., Verani S., Angeloni L., Menta F., Pontuale G., Sperandio G., 2022. VALORIZZAZIONE DELLA BIOMASSA FORESTALE RESIDUALE, **Terra è Vita**, 36 (63): 32-33.

### Comunicazione a convegni nazionali e internazionali

1. Pignatti G., Facciotto G., Sperandio G., Verani S., 2017. Eucalyptus plantations in Italy and forest rehabilitation: the way towards a sustainable management. In Chiatante D., Domina G., Montagnoli A., Raimondo F.M. (eds.), **Sustainable restoration in Mediterranean forests, Palermo** 19-21/04/2017. Fl. Medit. 27:40-41.
2. Biocca M., Gallo P., Sperandio G. (2022) Work Time Study, Productivity and Costs of Felling Trees in Urban Areas. In: G. Giordano and P. Catania (eds) AIIA International Conference: “**Biosystems Engineering Towards the Green Deal. Improving the resilience of agriculture, forestry and food systems in the post-Covid era**”, **Palermo**, 19-22 September 2022 Pag. 146. Book of Abstract.
3. Verani S., Pignatti G., Sperandio G., 2017. Valorizzazione delle biomasse forestali residuali: primi risultati del progetto AGROENER. Abstract-book Presentazioni Brevi e Posters **XI Congresso SISEF – Roma** 10-13 Ottobre 2017, p. 122.
4. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2018. Produzione di legna da ardere da cedui di eucalipto a turno breve: produttività di lavoro e costi. **IV Congresso Nazionale di Selvicoltura**, Torino, 5-9 Novembre 2018, abstract book, p. 270-271.
5. Verani S., Tomaiuolo M., Menta F., Pignatti G., 2018. Utilizzazioni legnose e biodiversità in boschi peri-urbani. **XII Convegno Nazionale Biodiversità**, Teramo 13-15/06/2018, atti del convegno p. 278.
6. Pignatti G., Verani S., Sperandio G., 2022. Are exotic conifer plantations sustainable? The case of radiata pine in Italy. Abstract book Posters, **XIII Congresso Nazionale SISEF**, Orvieto (TR), 30 Maggio – 2 Giugno 2022. (a cura di P. Paris, C. Calfapietra, R. Mottatta, D. Travaglini, G. Bucci), p. 74.
7. Presutti Saba E., Cecca D., Gallo P., Pignatti G., Sperandio G., Biocca M., 2022. Soil disturbances of harvest operations in Mediterranean conifer peri-urban forests. Abstract book Posters, **XIII Congresso Nazionale SISEF**, Orvieto (TR), 30 Maggio – 2 Giugno 2022. (a cura di P. Paris et al.), p. 138.
8. Gallo P., Sperandio G., Imperi G., Guglielmelli T., Biocca M. (2018) Cost and productivity of urban trees maintaining by climbing arborists. **1° World Forum on Urban Forests** (28 November - 01 December 2018, Mantova, Italy). Book of abstracts, 183.
9. Biocca M, Gallo P, Sperandio G (2022). Evaluation of working times and costs of tree felling in urban areas. In: **XIII Congresso Nazionale SISEF “Alberi-Foreste-Biodiversità: dal New Green Deal alla Form to Fork Strategy”** (Paris P. et al., eds). Orvieto (TR, Italy) 30 Mag - 2 Giu 2022. Abstract-book, Paper #c13.30.14. [online]

### Formazione

- 1. Elaborato Finale** del Laureando Tullio Guglielmelli: “VALUTAZIONE TECNICO ECONOMICA DI CANTIERI PER LA POTATURA E L'ABBATTIMENTO DI ALBERI IN AMBIENTE URBANO” Relatore: Prof. Ing. Danilo Monarca, Correlatori: Dott. Marcello Biocca e Dott. Pietro Gallo. **Corso di Laurea in Scienze Agrarie e Forestali**. Università degli Studi della Tuscia. A. A. 2017/2018.
- 2. Tesi di Dottorato di Ricerca** del Dott. Marcello Biocca: “TECHNICAL AND OPERATIONAL ASPECTS OF URBAN FORESTRY MANAGEMENT AND OPERATOR SAFETY FOR EXPOSURE TO NOISE, VIBRATIONS AND DUST”. Corso di Dottorato di Ricerca in “*Engineering for energy and environment*” - XXXIV Ciclo. Coordinatore del corso Prof. Danilo Monarca, Tutore Prof. Massimo Cecchini, Co-tutore Dott. Paolo Menesatti. Dipartimento di Dipartimento di Economia e Impresa, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo. A. A: 2020-2021.

### Divulgazione

- 1. Webinar** “APPROFONDIMENTI SULLA GESTIONE SOSTENIBILE DEL VERDE URBANO - RISULTATI DAL PROGETTO AGROENER E ALTRI CONTRIBUTI” 10 febbraio 2022. Disponibile sul canale CREA YouTube.
- 2. Giornata dimostrativa** “BIOMASSA FORESTALE: DA RESIDUO A RISORSA”, 10 Ottobre 2018, CREA Centro Foreste e Legno, Roma.
- 3. Giornata dimostrativa** “INNOVAZIONI PER LA FILIERA BIOMASSE E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO IN AGRICOLTURA” 26 Giugno 2019, CREA - Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari - Monterotondo (Roma) -

**Collaboratori:**

Giancarlo Imperi

Luciano Angeloni

Francesco Menta

Giorgio Pontuale

**Grazie per l'attenzione**

