

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena

Servizio Unico Attività Tecniche

ATTIVITÀ SF/10/19- CUP J91B20000980006

**Area Operativa Nord – Nuovo Ospedale di Carpi
Accordo di Programma per il settore degli investimenti sanitari, ai
sensi dell'art.20, L. n. 67/88 – VI fase – DGR 127/2023 Intervento APE
09. REALIZZAZIONE DEL NUOVO OSPEDALE DI CARPI**

ACCORDO OPERATIVO

1.09 - RELAZIONE SUL BILANCIO EMISSIVO

Modena li ottobre 2025

*Il progettista – responsabile del progetto
Arch. Giulia Pentella
SUMs architects STP soc. coop.*

Timbro professionale e firma

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CALCOLO DELLE EMISSIONI DI CO₂	4
2.1	COMPONENTE TERMICA ED ELETTRICA	4
2.2	COMPONENTE RIFIUTI	12
2.3	COMPONENTE TRAFFICO INDOTTO	14
2.4	PERDITA ASSORBIMENTO CO₂ DOVUTA A IMPERMEABILIZZAZIONE DEI SUOLI (SOIL SEALING).....	17
3	PIANTUMAZIONI	22
4	BILANCIO FINALE E CONCLUSIONI	26
5	ALLEGATO A – FOGLIO DI CALCOLO REBUS	28
6	ALLEGATO B – SCHEDE DA CATALOGO “ALBERI PER LA CITTÀ”	28
7	ALLEGATO C – SIMULAZIONI MODELLO “VIVAM”	28

1 PREMESSA

La presente relazione si inserisce nel quadro normativo definito dal Piano Urbanistico Generale (PUG) del Comune di Carpi e dal Regolamento Edilizio (RE) che stabiliscono l'obbligo di redazione di un bilancio emissivo per gli interventi di trasformazione complessa ricadenti nell'ambito di Accordi Operativi (AO) o Piani Attuativi di Iniziativa Pubblica (PAIP).

Tali strumenti pianificatori, in linea con le direttive europee e nazionali in materia di neutralità climatica, promuovono la realizzazione di edifici a energia tendente allo zero, caratterizzati da alte prestazioni energetiche, bassi fabbisogni coperti da fonti rinnovabili e da un sistema di compensazione delle emissioni residue di CO₂ attraverso misure ambientali quali la piantumazione di biomassa arborea o altre forme di stoccaggio.

Il **Regolamento Edilizio**, all'**art. 29.4**, stabilisce che la valutazione delle emissioni di CO₂ debba tenere conto, come minimo, delle seguenti componenti: **termica, elettrica, traffico indotto e rifiuti prodotti** (limitatamente alla quota indifferenziata). Il bilancio risultante da tale analisi deve essere illustrato con apposita relazione allegata alla documentazione progettuale, come richiesto dall'**art. 3.3.7 del PUG**.

Tuttavia, ai sensi dell'art. 4.1, comma 5, del PUG, nel caso di realizzazione di un'opera pubblica "*i parametri edilizi fanno riferimento ai requisiti prestazionali e di qualità secondo la specifica normativa tecnica e/o piani di settore*". Pertanto, le disposizioni degli articoli 3.3.5 (Riduzione dell'Impatto Edilizio - RIE), 3.3.6 (dotazioni di alberi e arbusti) e 3.3.7 (bilancio emissivo zero) del PUG risultano sostituite dalla normativa tecnica di settore applicabile alle opere pubbliche.

Si sottolinea che la riduzione delle emissioni climalteranti, in particolare della CO₂, non solo costituisce un principio insito nella normativa tecnica per la progettazione delle opere pubbliche, ma rappresenta anche un elemento da considerare e da mitigare nell'ambito delle valutazioni di sostenibilità ambientale e territoriale (VALSAT) previste per i principali interventi di trasformazione urbanistica, soprattutto quando comportano consumo di suolo.

In tal senso, viene comunque redatto il bilancio emissivo dell'intervento per quantificare le emissioni di gas climalteranti e valutare l'efficacia delle misure di mitigazione previste a progetto, **senza necessità però di perseguire il bilancio nullo**.

In assenza di un metodo univoco e vincolante, il Comune consente l'utilizzo di metodologie e strumenti diversificati, purché documentati, verificabili e coerenti con quanto previsto dal quadro di riferimento normativo e tecnico (es. metodologia Carbon Zero del Comune di Reggio Emilia, progetto REBUS della Regione Emilia-Romagna, Linee guida operative della Regione Toscana, applicativi I-Tree, progetto Qualiviva del MASAF, ecc.).

Nel caso specifico, ai fini della presente valutazione, si è fatto ricorso a un bilancio analitico delle emissioni climalteranti, elaborato sulla base di dati convalidati e fonti autorevoli per ciascuna componente emissiva:

- **Componente termica ed elettrica:** dati tratti dalla **VALSAT (Rapporto Ambientale)** allegata al progetto preliminare che costituisce base dell'Accordo Operativo di riferimento;
- **Componente rifiuti:** stima della CO₂ derivante dalla quota parte di rifiuti indifferenziati, calcolata sulla base di parametri standard forniti da ISPRA e ENEA;

- **Componente traffico indotto:** dati tratti dalla relazione sull'impatto sulla rete viaria sviluppata nell'ambito del presente Accordo Operativo e da strumenti convalidati ISPRA;
- **Componente Soil Sealing:** componente relativa alla riduzione di perdita assorbimento CO₂ dovuta a impermeabilizzazione dei suoli.

Si è deciso di non adottare la metodologia "Carbon Zero" in quanto non restituisce una stima analitica separata per traffico e rifiuti, oltre al fatto che non risulta adatta alla morfologia complessa dell'edificio, articolato in volumi con altezze e piani differenti. Inoltre, il calcolatore si basa su riferimenti normativi in parte superati (es. D.Lgs. 28/2011 sull'obbligo di copertura FER) e non consente una sufficiente personalizzazione dei parametri, rendendo impossibile allineare i valori emissivi della componente termica-elettrica a quelli già validati nella Valsat del progetto preliminare.

Alla stima delle emissioni nette derivanti da tali fonti è seguita la definizione delle relative misure compensative. In particolare, oltre agli interventi di efficienza energetica e mitigazione già inclusi nel progetto, sono state individuate e quantificate specifiche misure aggiuntive di compensazione tramite piantumazioni arboree, con il supporto dei fogli di calcolo del progetto **REBUS** della Regione Emilia-Romagna, che consentono la stima dello stoccaggio di CO₂ garantito dalle essenze arboree selezionate in funzione delle loro caratteristiche eco-funzionali. Le essenze selezionate sono state individuate tra quelle autoctone o adattive con elevate capacità di sequestro di CO₂, oltre che in grado di contribuire alla riduzione degli inquinanti atmosferici. Le aree di messa a dimora sono state scelte con criteri di funzionalità ecologica e paesaggistica, in coerenza con la localizzazione e le esigenze di fruibilità del nuovo complesso ospedaliero.

L'approccio metodologico adottato mira dunque a fornire una valutazione trasparente, verificabile e coerente con gli obiettivi di sostenibilità promossi dal PUG di Carpi, contribuendo alla realizzazione di un ambiente urbano più resiliente e responsabile dal punto di vista climatico.

2 CALCOLO DELLE EMISSIONI DI CO₂

2.1 Componente termica ed elettrica

Per la stima delle emissioni climalteranti connesse al funzionamento del nuovo edificio ospedaliero, sono stati presi in considerazione dapprima i consumi energetici annui relativi agli usi termici ed elettrici. I dati utilizzati per questa valutazione derivano dalla **VALSAT** (elaborato all D_RA_VALSAT) **del progetto di fattibilità tecnica ed economica precedentemente approvato**, che rappresenta il documento di riferimento per la definizione dei principali parametri energetici e ambientali dell'edificio.

È opportuno evidenziare che l'**Accordo Operativo**, a cui la presente analisi fa riferimento, **non ha apportato modifiche al PFTE** per quanto riguarda gli **aspetti progettuali legati all'immobile**. Infatti, l'Accordo si è concentrato unicamente su interventi di carattere esterno e urbanistico, senza incidere sulle caratteristiche tecniche e prestazionali dell'edificio stesso già definite nel progetto di fattibilità. Di conseguenza, le valutazioni riportate per la componente energetica e le relative emissioni climalteranti fanno riferimento alle **ipotesi progettuali e ai dati già sviluppati nella fase di PFTE**.

Si riporta nel riquadro di seguito l'estratto della **VALSAT di PFTE** (elaborato all D_RA_VALSAT) relativo alla quantificazione della **componente termica ed elettrica** dell'edificio di progetto, con un confronto diretto rispetto ai consumi registrati presso l'attuale Ospedale Ramazzini di Carpi. In chiusura del capitolo, la stima della componente termica ed elettrica è stata **aggiornata** utilizzando

i **fattori di emissione più recenti** pubblicati da ISPRA nell'ultimo report 2024, al fine di garantire la massima attualità e attendibilità delle valutazioni.

Riquadro contenente estratto della VALSAT di PFTE (elaborato all D_RA_VALSAT) relativo alla quantificazione della componente termica ed elettrica dell'edificio di progetto

2.1.1 Lo stato della componente nello scenario attuale

Le emissioni climalteranti nello scenario attuale legate ai consumi energetici dell'attuale Ospedale Ramazzini di Carpi possono essere desunte a partire dai dati relativi ai consumi di energia elettrica e gas forniti dall'AUSL di Modena, utilizzando i fattori di emissione indicati nel Monitoraggio del PAES del Comune di Carpi.

Tab. 3.3.1.5 Consumi energetici per vettore anni 2019 e 2020 (fonte AUSL Modena)

Vettore/Anno	2019	2020	Media
GAS Metano (Smc)	802.681 mc	833.300	817.991
Energia ELETTRICA (kWhel)	7.156.000	7.298.644	7.227.322

Nella tabella successiva si riportano quindi i consumi per vettore energetico, il relativo fattore di emissione (FE) e la CO2 equivalente ad essi associata.

Tab. 3.3.1.6 Emissioni Climalteranti Ospedale "Ramazzini"

Vettore/Grandezza	Consumo annuo	FE (da PAES) tCO2-eq/MWhfuel	Emissioni tCO2-eq/anno
GAS Metano ⁴	817.991 Smc / 7.853 MWh _{th}	0,202	1.586
Energia ELETTRICA ⁵	7.227 kWh _{el}	0,294	2.125
TOTALE			3.711

Sulla base dei consumi tipici di una struttura ospedaliera si stima la seguente ripartizione degli usi energetici.

⁴ Per passare da Smc a MWh si è fatto riferimento alla relazione $1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 0,0096 \text{ MWh}$ riportata nel Monitoraggio del PAES. Il fattore di emissione è desunto dal Piano di Monitoraggio del PAES di Carpi.

⁵ Il fattore di emissione considerato è quello utilizzato nel MEI di Carpi che tiene conto dell'energia elettrica locale calcolato utilizzando la formula indicata dalle Linee guida per la redazione del PAES.

Tab. 3.3.1.7 Ripartizione Consumi per tipologia di uso: Ospedale Ramazzini

USI Elettrici		
Illuminazione	30%	2.168.197
UTA + Condizionamento	35%	2.529.563
Ausiliari	10%	722.732
Elettromedicali	15%	1.084.098
Altro	10%	722.732
Totale kWhel		7.227.322
USI Termici		
Riscaldamento	50%	408.995
ACS + Sterilizzazione	50%	408.995
Totale Smc		817.991

2.1.2 Interferenze con la componente

Dal documento 1.17 – RELAZIONE SULLE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA, DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI AMBIENTALI del PFTE, si evince che la AUSL ha, rispetto a questo tema, degli obiettivi particolarmente ambiziosi: *Obbiettivo della presente progettazione è la realizzazione di un edificio ad alta prestazione energetica. Al fine di perseguire tale risultato, il progetto impiantistico dovrà prevedere l'utilizzo di tecnologie innovative e green, da adottare al fine di ridurre i consumi/emissioni e massimizzare i rendimenti. A tale scopo dovrà essere applicato un modello di calcolo dinamico per valutare il comportamento dell'edificio su base oraria ed ottimizzare le scelte impiantistiche che poi saranno "valorizzate" nell'ambito del Protocollo di Sostenibilità del Costruito (LEED, Breeam o equivalente).*

Innanzitutto si ricorda che la progettazione energetica del Nuovo Ospedale dovrà risultare conforme alle prescrizioni di legge attualmente vigenti (al momento DGR 967/2015 e ss. mm. ii.) e quindi:

- Tutte le nuove realizzazioni private a partire dal 1° gennaio 2019 e gli interventi a queste assimilabili dovranno essere NZEB (edifici ad energia quasi zero);
- I consumi per climatizzazione invernale ed estiva nonché per produzione di ACS, devono essere coperti al 50% da FER a partire dal 1° gennaio 2019 (per la sola ACS il livello di copertura da FER deve essere comunque pari al 50%); valori incrementati del 10% per gli edifici pubblici (come nel caso in esame per cui le percentuali di copertura passano da 50% al 55%);

Sempre in tema di rinnovabili oltre al grado di copertura in termini percentuali del fabbisogno energetico di energia primaria, in applicazione del Dlgs 28/2011, deve essere anche garantita l'installazione di impianti fotovoltaici la cui potenza di picco sia determinata in base al maggiore dei valori come di seguito determinati:

- Potenza di picco pari a 0,5 kWp per ogni 100 mq di Su;
- Potenza di picco pari a $S_q/50$ (con S_q = superficie di copertura degli edifici in progetto);

Nel caso in cui vi siano impedimenti nella realizzazione di impianti aventi la potenza richiesta dalle normative vigenti, è possibile derogare dall'installazione di impianti fotovoltaici, mediante la realizzazione di impianti di cogenerazione di equivalente potenza o l'allaccio a reti di teleriscaldamento alimentate però da sistemi cogenerativi ad alto rendimento.

Sulla base di quanto sopra riportato, il nuovo Ospedale, avrà le seguenti caratteristiche:

- In merito all'involucro edilizio, le trasmittanze di progetto risulteranno essere decisamente inferiori a quelle dell'edificio esistente (sino a da 5 a 10 volte);

Tab. 3.3.2.1 CARATTERISTICHE ENERGETICHE DEGLI EDIFICI (Trasmittanza Termica U - Riferimenti legislativi vigenti, Nuova Scuola, Scuola Esistente)

	U pareti W/m ² K	U basamento W/m ² K	U copertura W/m ² K	U infissi W/m ² K
DGR 967/2015 e ss.mm.ii. Nuova Costruzione	0,26	0,22	0,26	1,40

Sulla base di quanto sopra detto nel documento sopra citato del PFTE si effettua un confronto tra il fabbisogno energetico dell'involucro della nuova struttura (secondo due diverse ipotesi descritte in tabella sotto riportata) e quello dell'attuale struttura ospedaliera.

Tab. 3.3.2.2 CARATTERISTICHE ENERGETICHE DEGLI EDIFICI Prestazione Energetica involucro: progetto e edificio esistente

Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3
<u>Nuovo ospedale</u> Prestazione Energetica dell'involucro con trasmittanza pari ai limiti imposti dalla normativa	<u>Nuovo ospedale</u> Prestazione Energetica dell'involucro con trasmittanza migliorativa rispetto ai limiti normativi	<u>Ospedale esistente</u> Prestazione Energetica dell'involucro calcolato da Certificazione energetica
4,4 kWh/m³anno	3,3 kWh/m³anno	20 kWh/m³anno

Sulla base delle valutazioni sopra esposte è ipotizzabile che il fabbisogno di energia termica per il nuovo edificio si riduca a circa un quarto di quello attuale.

- La necessità di dover garantire elevati livelli di copertura del fabbisogno di energia primaria (pari ad almeno il 55% di quelli previsti per la climatizzazione e per ACS) richiede necessariamente che gli impianti utilizzati debbano essere particolarmente performanti e capaci di utilizzare energia rinnovabile o a questa assimilabile.

Per queste ragioni oltre ad una centrale termica dotata di caldaie a condensazione, e ad una centrale frigorifera (impianti questi presenti anche nell'attuale ospedale), la progettazione prevede la realizzazione di una centrale di trigenerazione. Tale impianto consentirà la produzione congiunta di energia elettrica e calore utile a partire dalla stessa fonte primaria. A completamento di tale processo, la realizzazione di sistemi di assorbimento dedicati, consentiranno di recuperare, nel periodo estivo, l'energia termica altrimenti dispersa, al fine di raffreddare l'acqua dedicata agli impianti di climatizzazione.

Si precisa che, al di là dell'impostazione sopra descritta, in fase di progettazione si dovrà comunque verificare quanto indicato nei Criteri Ambientali Minimi ed in particolare quelli di cui al DM 11 Ottobre 2017 Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici (ora in fase di revisione).

- Infine, riguardo alla presenza di impianti fotovoltaici (o impianti equivalenti in potenza di cogenerazione ad altro rendimento), nella tabella seguente si riporta stima impianto effettuata sulla base della Superficie Utile prevista dalla nuova struttura ($S_u = 56.800 \text{mq}$) e dalla Superficie coperta dedotta dal progetto presentato dalla AUSL a giugno 2021 ($S_q = 30.000 \text{mq}$).

Tab. 3.3.2.3 CARATTERISTICHE ENERGETICHE DEGLI EDIFICI (Trasmittanza Termica U - Riferimenti legislativi vigenti, Nuova Scuola, Scuola Esistente)

	$S_u/S_q \text{ mq}$	PFV in kWp
$P_{FV} = (0,5 S_u)/100$	56.800	284
$P_{FV} = (S_q/50)$	30.000	600

Sulla base dei calcoli sopra indicati si presume che nella realizzazione del nuovo nosocomio, si debba prevedere un impianto fotovoltaico avente potenza di picco pari a 600 kWp o che tale debba essere la potenza minima richiesta a un microgeneratore alternativo al sistema fotovoltaico.

Cautelativamente si ipotizza siano presenti entrambi i sistemi in quanto la trigenerazione non potrà essere dimensionata sulla base dell'inseguimento elettrico. Infatti, seppure economicamente conveniente, rischia di essere peggiorativa in termini di bilancio emissivo e di efficienza energetica.

Si ipotizza invece che il solare termico per la produzione di ACS sia ridondante rispetto alla presenza della cogenerazione e delle centrali termiche (cui è demandata anche la produzione di ACS).

Si fa presente che l'attuale tecnologia consente di ridurre l'occupazione di 1 kWp a 8-10 m² di superficie coperta e che quindi il coperto della nuova struttura (pari a circa 30.000 mq) anche se ovviamente non tutto disponibile, possa ospitare i previsti 600 kWp.

Sulla base delle ipotesi sopra assunte si effettua quindi una prima stima dei consumi per vettore energetico e delle emissioni climalteranti legate alla realizzazione del nuovo ospedale, assumendo che trattandosi di una nuova costruzione si possano, cautelativamente, ottenere i seguenti miglioramenti rispetto agli usi energetici evidenziati nella tabella relativa allo stato attuale.

Tab. 3.3.2.4 Miglioramento prestazioni per tipologia uso Nuovo Ospedale

Uso energetico	% miglioramento
Illuminazione	- 50%
UTA + Condizionamento	- 20%
Ausiliari	- 5%
Elettromedicali	- 5%
Altri usi elettrici	- 5%
Riscaldamento	- 75%
ACS + Sterilizzazione	- 10%

In base alle ipotesi di riduzione sopra assunte si ricava che il fabbisogno di energia elettrica del Nuovo Ospedale si riduce a 5.510.833 kWhel.

Per il consumo di Gas metano (che oltre ai consumi per Riscaldamento comprende anche quelli relativi a ACS+Sterilizzazione), ipotizzando che il previsto impianto di cogenerazione contribuisca al fabbisogno sia per Climatizzazione invernale che per la produzione in parte di ACS e che le caldaie diano contributo sempre alla produzione di ACS e per la sterilizzazione, si ipotizza che i consumi nello scenario futuro di GAS metano siano pari a circa il 75% di quelli dell'attuale ospedale (ovvero 572.593 Smc), impiegati per circa il 65% dall'impianto di cogenerazione e per il restante 35% dalle caldaie.

Tab. 3.3.2.5 Consumi Gas Metano Scenario futuro (in Smc)

Caldaie Smc	200.408
Cogenerazione Smc	372.186
Totale Smc	572.593

Ipotizzando che i rendimenti dell'impianto di cogenerazione siano pari rispettivamente al 40% per quanto attiene la produzione elettrica e il 45% relativamente a quella termica (valori standard) risulta che l'energia elettrica prodotta dall'impianto e autoconsumata ammonta a 1.429.193 kWhel.

Tab. 3.3.2.6 Energia Elettrica prodotta da impianto di Cogenerazione – Nuovo Ospedale

Consumo Gas Smc	kWh GAS	Rendimento elettrico COG	E.E. in kWhel
372.186	3.572.983	40%	1.429.193

A questa occorrerebbe aggiungere l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico FV avente potenza di picco pari a 600 kWp. La stima di quando prodotto e anch'esso autoconsumato in situ, può essere effettuata utilizzando il fattore di producibilità media per kWp riportato nel Monitoraggio del PAES, pari a 1.040 kWhel/kWp. Si ritiene tale valore cautelativo considerando che, trattandosi di un edificio di nuova realizzazione, l'orientamento dei pannelli è meno vincolato rispetto ad un edificio esistente. Si ricava quindi che l'energia elettrica prodotta dal nuovo impianto FV installato sull'ospedale ammonta a 624.000 kWhel.

Tab. 3.3.2.7 Energia Elettrica prodotta da impianto FV – Nuovo Ospedale

Potenza impianto FV in kWp	Producibilità specifica kWhel/kWp	E.E. in kWhel
600	1.040	624.000

Dal fabbisogno di Energia Elettrica complessiva del nuovo Ospedale si dovrà quindi detrarre quella autoprodotta e autoconsumata in situ così da determinare quella richiesta alla rete.

Tab. 3.3.2.8 Energia elettrica richiesta alla rete in kWhel Nuovo Ospedale

Fabbisogno E.E. in kWhel	5.510.833
E.E. Cogeneratore in kWhel	- 1.429.193
E.E. impianto FV	- 624.000
E. E. richiesta alla rete	3.457.640

È quindi possibile stimare il bilancio emissivo del Nuovo Ospedale come evidenziato nella tabella seguente.

Tab. 3.3.2.9 Emissioni Climalteranti Nuovo Nosocomio

Vettore/Grandezza	Consumo annuo	FE (da PAES) tCO ₂ -eq/MWh _{fuel}	Emissioni tCO ₂ -eq/anno
GAS Metano	572.593 Smc / 5.496.896 MWh _{th}	0,202	1.110
Energia ELETTRICA	3.457.640 kWh _{el}	0,294	1.017
TOTALE			2.127

Rispetto allo scenario attuale (ospedale esistente) si ha quindi una riduzione delle emissioni climalteranti pari di – **1.584 tCO₂eq** (pari a **-43%**).

Un contributo ulteriore all'abbattimento delle emissioni residue (oltreché alla riduzione dell'inquinamento) può essere dato dalla piantumazione di adeguate specie arboree e arbustive, specificatamente selezionate in base all'assorbimento di specifici inquinanti, all'assimilazione e stoccaggio della CO₂, la riduzione del run-off, in aree idonee e funzionali rispetto alla collocazione del nuovo ospedale.

Riquadro contenente estratto della VALSAT di PFTE (elaborato all D_RA_VALSAT) relativo alla quantificazione della componente termica ed elettrica dell'edificio di progetto

2.1.3 Revisione della componente emissiva con fattori aggiornati

Nella sezione precedente, la stima delle emissioni climalteranti associate al funzionamento dell'edificio è stata effettuata utilizzando i fattori di emissione riportati nel Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) del Comune di Carpi, redatto nel 2014. Sebbene tali valori abbiano costituito un utile riferimento per valutazioni preliminari, si evidenzia come, a distanza di oltre un

decennio, non siano più adeguati a una corretta quantificazione delle emissioni nel contesto attuale, in quanto non riflettono l'evoluzione del mix energetico nazionale e i recenti progressi nella decarbonizzazione del sistema elettrico.

Per questo motivo, si procede in questa sezione ad aggiornare il calcolo delle emissioni utilizzando fattori più recenti e consolidati, riferiti alle fonti istituzionali attualmente disponibili.

Il fattore di emissione del **gas naturale** viene aggiornato in base ai valori di riferimento riportati nel **Rapporto ISPRA 413/2025 "Le emissioni di CO₂ nel settore elettrico nazionale e regionale"**, che riprende i dati dell'**Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera (NIR)**. Per il gas naturale, il valore aggiornato di riferimento è calcolato considerando un contenuto di carbonio relativo al **2023** pari a **59,182 tCO₂/TJ**, come riportato nella tabella a seguire.

Fattori di emissione per contenuto di energia primaria dei combustibili utilizzati nel settore elettrico

Combustibile	U.M.	Anno	t CO ₂ /TJ	t CO ₂ /U.M.	t CO ₂ /tep
Gas naturale (pci 8190 kcal/m ³)	10 ³ Sm ³	2020	57.910	1.986	2.425
		2021	58.504	2.006	2.449
		2022	58.918	2.020	2.467
		2023	59.182	2.029	2.478
Olio combustibile	t	2020	76.497	3.143	3.203
		2021	76.501	3.143	3.203
		2022	76.609	3.144	3.207
		2023	76.427	3.136	3.200
Carbone da vapore	t	2020	94.013	2.356	3.936
		2021	93.078	2.334	3.897
		2022	93.233	2.310	3.903
		2023	93.395	2.302	3.910
Gas di raffinaria	t	2020	56.146	2.639	2.351
		2021	56.014	2.649	2.345
		2022	56.531	2.665	2.367
		2023	56.497	2.666	2.365
Gas di cokeria	10 ³ Sm ³	2020	45.854	0.844	1.920
		2021	45.490	0.830	1.905
		2022	44.925	0.805	1.881
		2023	44.857	0.756	1.878
Gas di altoforno	10 ³ Sm ³	2020	251.043	0.883	10.511
		2021	247.920	0.918	10.380
		2022	250.750	0.911	10.498
		2023	254.347	0.897	10.649
Gas di acciaieria	10 ³ Sm ³	2020	195.877	1.353	8.201
		2021	192.710	1.397	8.068
		2022	191.486	1.414	8.017
		2023	199.069	1.354	8.335
Idrocarburi pesanti per gassificazione	t	2020	80.211	3.124	3.358
		2021	79.606	3.100	3.333
		2022	80.480	3.134	3.370
		2023	80.611	3.139	3.375
Gas di sintesi	t	2020	102.912	0.870	4.309
		2021	97.899	1.196	4.099
		2022	99.071	0.926	4.148
		2023	97.875	0.864	4.098

Per esprimere il fattore in tCO₂eq per megawattora termico (MWh_{th}), è necessario convertire i terajoule (TJ) in megawattora (MWh):

- 1 TJ = 10¹² joule
- 1 MWh = 3,6×10⁹ joule (dato che 1 Wh = 3.600 joule)

Quindi:

$$1 \text{ TJ} = \frac{10^{12} \text{ J}}{3,6 \times 10^9 \text{ J/MWh}} = 277,78 \text{ MWh}$$

Il calcolo del fattore di emissione aggiornato è quindi:

$$\text{Fattore di emissione} = \frac{59,182 \text{ tCO}_2/\text{TJ}}{277,78 \text{ MWh}} = 0,213 \text{ tCO}_2/\text{MWh}_{th}$$

Analogamente, il fattore di emissione dell'**energia elettrica** viene aggiornato in base ai valori di riferimento riportati nel **Rapporto ISPRA 413/2025 "Le emissioni di CO₂ nel settore elettrico nazionale e regionale"**, che riprende i dati dell'**Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera (NIR)**. Per l'energia elettrica, il nuovo fattore emissivo nazionale medio è pari a **234,7 gCO₂/MJ** considerando il mix energetico nazionale aggiornato al **2023**.

Fattori di emissione nel settore elettrico (g CO₂/kWh)

Anno	Produzione termoelettrica lorda (solo fossili)	Produzione termoelettrica lorda ¹	Produzione elettrica lorda ²	Consumi elettrici ³	Perdite di rete ⁴	Produzione termoelettrica lorda e calore ^{1,5}	Produzione elettrica lorda e calore ^{2,5}	Produzione di calore ⁵
2022	477.4	435.1	307.3	293.0	265.4	388.3	293.4	223.8
2023	460.2	414.9	256.3	234.7	213.3	369.6	251.3	225.1
2024*	422.4	382.2	215.9	198.9	180.6	344.2	217.7	227.4

¹ Inclusa elettricità da bioenergia.

² Inclusive rinnovabili, al netto di apporti da pompaggio e da accumulo stand alone.

³ Inclusive le perdite di rete e la quota importata.

⁴ Fattore di emissione della produzione elettrica per la quota di perdite di energia elettrica prodotta.

⁵ Inclusive le emissioni di CO₂ per la produzione di calore.

* Dati preliminari.

Il fattore in tCO₂eq per megawattora elettrico (MWh_{el}) è quindi definito come di seguito:

$$\text{Fattore di emissione} = 234,7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 1000 \text{ kWh/MWh} = 0,235 \text{ tCO}_2\text{eq}/\text{MWh}_{el}$$

Il valore aggiornato di **0,235 tCO₂eq/MWh_{el}** rappresenta le emissioni di CO₂ associate al consumo di 1 MWh di energia elettrica, calcolato sulla base del mix di produzione nazionale aggiornato al 2023. Questo dato tiene conto delle fonti rinnovabili, delle importazioni di energia e delle perdite di rete, ed è più rappresentativo del contesto attuale rispetto al valore precedentemente utilizzato nel PAES. È quindi possibile aggiornare il bilancio emissivo come evidenziato nella tabella seguente.

Emissioni Climalteranti Nuovo Nosocomio

Vettore/Grandezza	Consumo annuo	FE tCO ₂ -eq/MWh _{fuel}	Emissioni tCO ₂ -eq/anno
GAS Metano	572.593 Smc / 5.496,896 MWh _{th}	0,213	1170,84
Energia ELETTRICA	3.457,640 kWh _{el}	0,235	812,55
TOTALE			1983,39

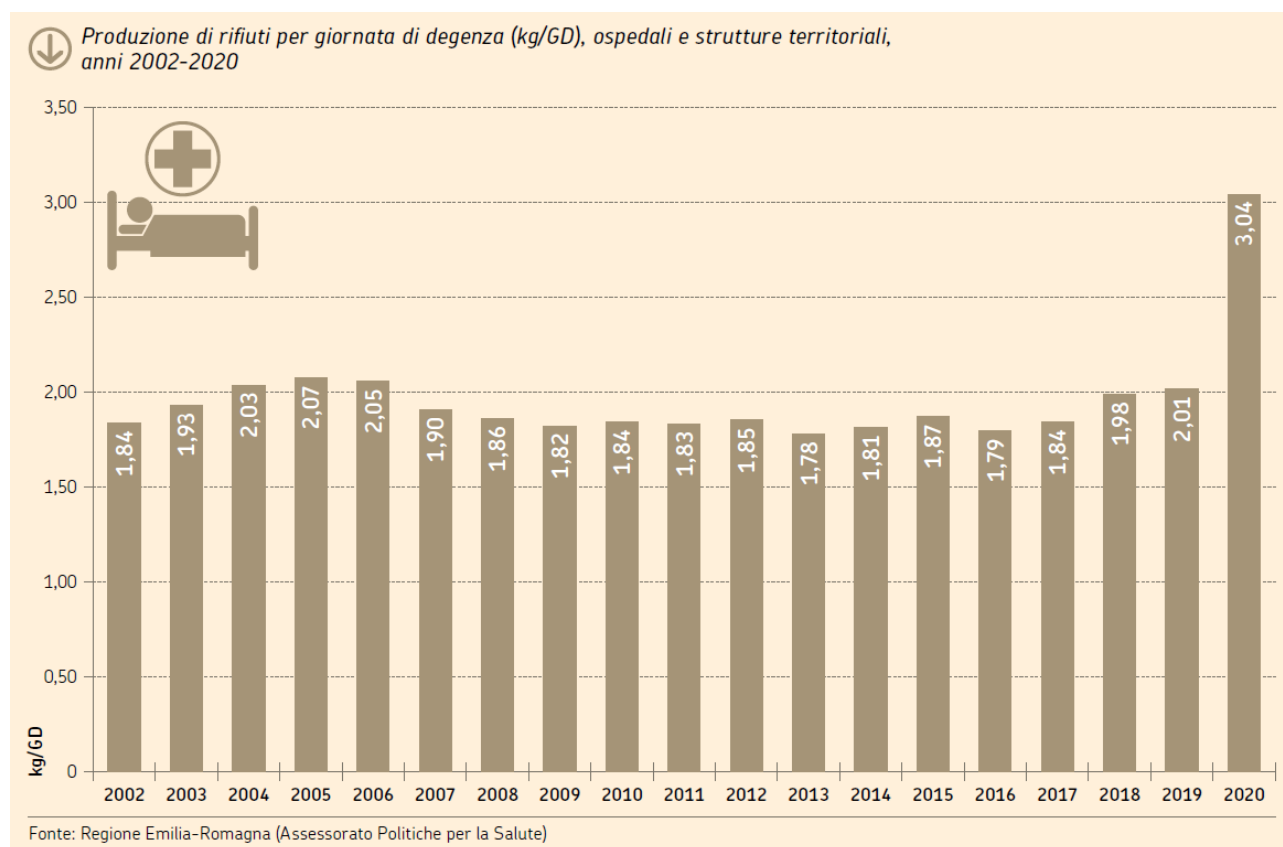
L'aggiornamento della componente termica ed elettrica con i fattori di emissione più recenti ha determinato una variazione nei singoli contributi: la componente termica (gas naturale) registra un

lieve incremento delle emissioni da 1.110 tCO₂eq a 1.171 tCO₂eq, mentre la componente elettrica mostra una significativa riduzione da 1.017 tCO₂eq a 813 tCO₂eq. Complessivamente, l'aggiornamento riflette il progressivo miglioramento del mix energetico nazionale e fornisce una stima più aderente allo scenario attuale. Rispetto allo scenario attuale (ospedale Ramazzini) si ha quindi una riduzione delle emissioni climalteranti di **- 1.727,61 tCO₂eq (pari a -46,5%)**.

2.2 Componente rifiuti

La valutazione delle emissioni climalteranti generate dall'intervento in oggetto include, tra le diverse componenti previste, anche quella relativa alla produzione e gestione dei rifiuti. In particolare, viene considerata la quota parte dei rifiuti solidi urbani non pericolosi prodotti dalla struttura ospedaliera, per i quali è previsto l'incenerimento come principale modalità di smaltimento.

Sulla base del numero di posti letto previsto per il nuovo edificio ospedaliero (n. 298), e considerando una produzione media di rifiuti pari a **1,89 kg per giornata di degenza**, si è stimata una produzione annua complessiva pari a circa **206.059 kg di rifiuti**. Il valore medio utilizzato per il calcolo deriva dall'analisi dei dati storici contenuti nel *Report Rifiuti* di ARPAE, riferiti al periodo **2002–2019**, relativi alle strutture sanitarie della Regione Emilia-Romagna. Di seguito si riporta la tabella estratta dal suddetto report ARPAE, a supporto del dato medio adottato.

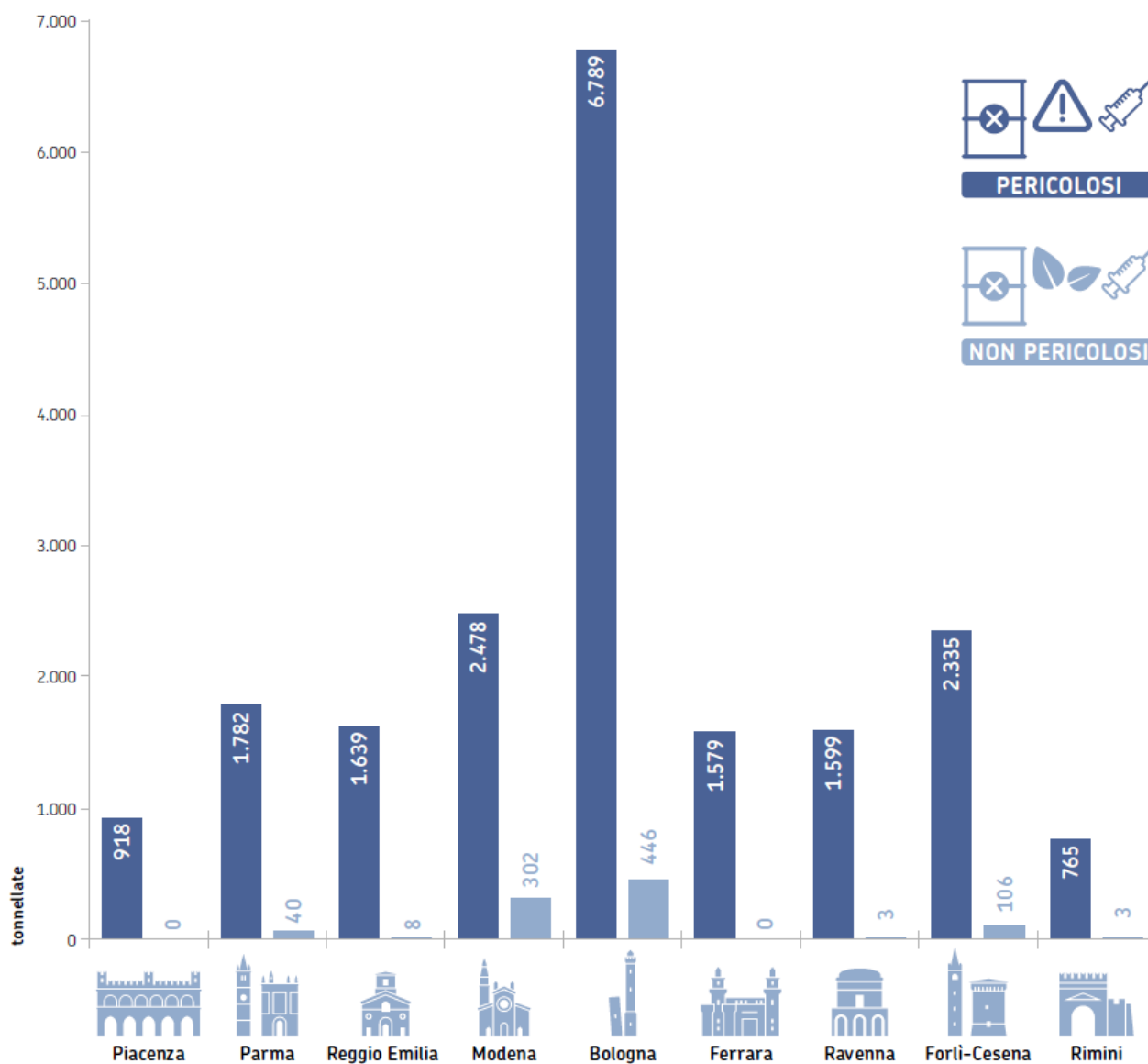


A fini metodologici, si è scelto di escludere l'anno **2020** dal calcolo della media, in quanto caratterizzato da dati anomali dovuti all'emergenza sanitaria da Covid-19, che ha alterato significativamente i flussi ordinari di produzione e gestione dei rifiuti in ambito ospedaliero.

Secondo quanto riportato nel **Rapporto Rifiuti 2024** redatto da **ARPAE Emilia-Romagna**, che analizza in dettaglio la produzione e la gestione dei rifiuti nelle strutture sanitarie della regione, è possibile stimare che una **quota pari all'11%** del totale dei rifiuti prodotti da un ospedale della

provincia di Modena sia costituita da **rifiuti non pericolosi**. Si riporta di seguito la tabella riepilogativa. Tale categoria include tipologie di scarti che, pur generati in ambiente sanitario, non presentano caratteristiche di pericolosità tali da richiedere un trattamento speciale, e risultano quindi **potenzialmente assimilabili ai rifiuti solidi urbani**, destinabili a incenerimento. Applicando tale percentuale al valore stimato della **produzione complessiva annua di rifiuti** per la nuova struttura ospedaliera, si ottiene una **quantità annua di rifiuti non pericolosi pari a circa 22.666 kg**.

 **FIGURA 30** Produzione di rifiuti speciali sanitari per provincia, appartenenti alla categoria 18, suddivisa in pericolosi e non pericolosi, anno 2022



Fonte: dati MUD

Ai fini della valutazione delle emissioni di CO₂, si è adottato come riferimento il **fattore di emissione per incenerimento dei rifiuti solidi urbani** riportato nei dati tecnici pubblicati da ENEA, di cui si riporta la tabella di seguito, pari a **0,29 kg CO₂ per kg di rifiuto incenerito**. Applicando tale coefficiente alla massa stimata di rifiuti non pericolosi, si ottiene un valore di **6.573 kg di CO₂/anno**, equivalente a **6,573 tCO₂eq/anno**.

TIPOLOGIA DI SMALTIMENTO	CO ₂ (kg CO ₂ /kg rifiuto)	FONTE
Incenerimento Rifiuti Solidi Urbani	0,29	ENEA
Discarica	0,87	IPCC 2007, EPA 2008
Compostato	0,396	IPCC 2007, EPA 2009
Digestione Anaerobica	0,042	IPCC 2007, EPA 2010

Tale dato concorre al computo del bilancio emissivo complessivo del progetto, secondo quanto richiesto dalla normativa locale. È opportuno precisare che la stima esclude i rifiuti sanitari pericolosi, che rientrano in una filiera separata e specialistica di smaltimento, non direttamente riconducibile al modello standard di calcolo delle emissioni previsto per i rifiuti solidi urbani.

Il documento di riferimento, il Report Rifiuti di ARPAE, da cui è stato dedotto il valore complessivo di rifiuti prodotti per giornata di degenza, non specifica esplicitamente se tale dato comprenda:

- tutte le aree di produzione (reparti, uffici, magazzini, cucine, servizi amministrativi, ecc.);
- tutte le tipologie di rifiuti indifferenziati, inclusi quelli sanitari, quelli derivanti dalla pulizia delle aree interne ed esterne, nonché quelli assimilati agli urbani.

In assenza, in questa fase, di altri dati di riferimento, è opportuno considerarlo come un indicatore orientativo, riferito prevalentemente all'attività sanitaria e assistenziale, piuttosto che all'intero insieme delle attività aziendali. Le stime condotte sulle diverse componenti, pur essendo fondate e improntate a criteri di cautela, non costituiscono ancora una rappresentazione definitiva delle effettive prestazioni del futuro edificio ospedaliero, che potranno essere definite con maggiore precisione solo in fase di progettazione esecutiva.

2.3 Componente traffico indotto

Per stimare la componente di emissioni climalteranti derivanti dal traffico veicolare associato alla nuova struttura ospedaliera, è stato adottato un approccio multilivello, che integra dati ufficiali sulle emissioni (fonte ISPRA) e informazioni trasportistiche contenute nella documentazione progettuale (*Analisi dell'accessibilità e studio impatto sulla rete stradale*).

In una prima fase, sono stati analizzati i dati ISPRA relativi ai **fattori di emissione di CO₂ per km** percorso, distinti per tipologia di alimentazione (benzina, diesel, GPL, metano, ibrido, elettrico, ecc.) e mezzo di trasporto (autovetture, autobus, motocicli, veicoli pesanti). Si è fatto riferimento al **Documento tecnico ISPRA 2024** – “*La sfida ambientale per la finanza sostenibile: metodologie, informazioni e indicatori ambientali*”. Il documento, elaborato da ISPRA con l'obiettivo di supportare la rendicontazione ambientale secondo i nuovi standard europei in materia di finanza sostenibile, fornisce un quadro metodologico aggiornato, corredato da un foglio di calcolo contenente i fattori medi nazionali derivati dall'**Inventario Nazionale delle Emissioni ISPRA**. A partire da questi valori, è stato calcolato per ciascuna categoria di veicolo prima e per ciascun mezzo di trasporto poi, un fattore di emissione medio pesato, ottenuto come media aritmetica o ponderata tra le diverse alimentazioni disponibili, tenendo conto della loro rappresentatività nel parco veicolare.

Mezzo di trasporto	Categoria	Alimentazione	CO ₂ 2021 [g/km]	Media per categoria CO ₂ 2021 [g/km]	Media per mezzo di trasporto CO ₂ 2021 [g/km]
Autoveicoli	Passenger Cars	Petrol	161,29	143,48	194,27
	Passenger Cars	Petrol Hybrid	136,66		
	Passenger Cars	Petrol PHEV	127,82		
	Passenger Cars	Diesel	166,85		
	Passenger Cars	Diesel PHEV	140,82		
	Passenger Cars	LPG Bifuel	156,25		
	Passenger Cars	CNG Bifuel	126,31		
	Passenger Cars	Battery electric	0,00		
	Light Commercial Vehicles	Petrol	246,89	245,06	
	Light Commercial Vehicles	Diesel	243,22		
Veicoli pesanti	Heavy Duty Trucks	Petrol	503,09	585,75	585,75
	Heavy Duty Trucks	Diesel	668,40		
Autobus	Buses	Diesel	702,81	826,91	826,91
	Buses	Diesel Hybrid	681,08		
	Buses	CNG (categorie Copert da Euro I a EEV)	1096,83		
Motocicli	Mopeds	Petrol	54,88	54,88	80,98
	Motorcycles	Petrol	107,08	107,08	

Nel caso specifico degli **autoveicoli**, si è applicata una correzione prospettica coerente con gli obiettivi europei e nazionali di decarbonizzazione della mobilità, assumendo che il **10% del parco circolante** in ingresso all'ospedale sarà costituito da **veicoli elettrici o ibridi plug-in**, caratterizzati da emissioni nulle o significativamente ridotte. Questo ha permesso di ottenere un coefficiente di emissione medio più realistico e aderente agli scenari evolutivi della mobilità sostenibile. Questa scelta è in linea con le previsioni di Motus-E e PwC Strategy&, che stimano l'elettrificazione progressiva del parco veicolare nazionale entro il 2030.

Successivamente, si è fatto riferimento ai dati riportati nello studio di impatto sulla rete stradale redatto nell'ambito dell'Accordo Operativo, dal quale emerge che il nuovo insediamento sanitario comporterà un flusso giornaliero stimato pari a **4.566 spostamenti/giorno**. Dall'analisi condotta, e sintetizzata nelle tabelle riportate di seguito, risulta che tale volume di traffico è così suddiviso in base alla tipologia di veicolo:

- **4.496 spostamenti/giorno** attribuibili a **veicoli leggeri**, comprendenti autovetture, veicoli commerciali leggeri, mezzi di servizio e ambulanze;
- **70 spostamenti/giorno** effettuati da **veicoli pesanti**, destinati principalmente al trasporto merci e alla logistica ospedaliera.

Spostamenti veicolari totali in ingresso e uscita dall'area nei periodi della giornata

Veicoli	ORA DI PUNTA (mattina)		ORA DI PUNTA (sera)		DIURNO		NOTTURNO		24 H	
	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI
Ingresso	523	4	127	-	2'228	35	20	-	2'248	35
Uscita	291	2	175	-	2'219	35	29	-	2'248	35
Totale	814	6	302	-	4'447	70	49	-	4'496	70

Spostamenti veicolari generati dall'attuazione dagli interventi previsti – Ingressi + Uscite

Flussi totali uscita	ORA DI PUNTA (mattina)		ORA DI PUNTA (sera)		DIURNO		NOTTURNO		24 H	
Categorie	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI	LEGGERI	PESANTI
Addetti	359	-	29	-	1'495	-	-	-	1'495	-
Tirocinanti	42	-	4	-	177	-	-	-	177	-
Visitatori	205	-	187	-	1'170	-	-	-	1'170	-
Fornitori	7	6	4	-	70	70	-	-	70	70
Pronto Soccorso	18	-	23	-	293	-	35	-	328	-
Pazienti esami ambulatoriali	166	-	55	-	1'097	-	10	-	1'107	-
Personale Sanitario ambulatori	17	-	-	-	146	-	4	-	150	-
Veicoli totali	814	6	302	-	4'447	70	49	-	4'496	70

Si è proceduto a una suddivisione degli spostamenti sulla base dello **split modale** ricavato dalle tabelle della relazione trasportistica “*Ripartizione modale da dati ISTAT in Comune di Carpi*” e “*Stima degli addetti, utenti e fornitori per le destinazioni funzionali previste nel progetto*”, che distingue le tipologie di accesso all'ospedale (auto privata, trasporto pubblico, mezzi a due ruote, mobilità attiva). Questa suddivisione ha permesso di quantificare, per ogni mezzo di trasporto, la relativa incidenza sul totale degli spostamenti. L'intento è quello di **evitare una sovrastima delle emissioni**, distribuendo correttamente i veicoli coerentemente con la composizione del traffico generato.

Ai valori assoluti di spostamenti giornalieri per ciascun mezzo di trasporto è stato associato il rispettivo fattore medio di emissione precedentemente calcolato. In questo modo è stato possibile determinare una **media pesata complessiva del coefficiente di emissione CO₂** ponderata secondo la distribuzione percentuale delle categorie veicolari nel mix modale complessivo. Questo dato rappresenta un coefficiente sintetico che riflette fedelmente la composizione attesa del traffico veicolare afferente all'ospedale. Di seguito la tabella riepilogativa.

Mezzo di trasporto	spostamenti/giorno [/]	spostamenti/anno [/]	CO ₂ eq [kg/km*spostamento]	CO ₂ eq [kg/km*anno]
Autoveicoli	4175	1523823	0,19	296030
Bus	214	78145	0,83	64619
Motocicli	107	39072	0,08	3164
Veicoli pesanti	70	25550	0,59	14966
Totale	4566	1666590		378778
Media pesata complessiva del coefficiente di emissione CO₂ [kg/km]				0,23

Per stimare in modo accurato il volume complessivo di traffico generato dal nuovo ospedale, espresso in veicoli a km, si è utilizzato il valore di **4.087 veicxkm**, corrispondente all'ora di punta del mattino, come riportato nella **relazione trasportistica**.

Per evitare una sovrastima legata all'estensione diretta di questo valore su tutte le 24 ore della giornata, il valore di picco è stato riproporzionato sull'intera giornata utilizzando le percentuali orarie di distribuzione degli accessi, desunte dalla tabella “*Andamento della distribuzione giornaliera degli ingressi/uscite*”. Ciò ha permesso di ricostruire la curva oraria del traffico associato al complesso ospedaliero, calcolando così il totale dei veicoli a km giornalieri, pari a **22.813 veicxkm/giorno** in modo coerente con i flussi effettivi di accesso.

Ingressi/uscite nel giorno feriale medio			
ora	totale I/U	% I/U	veicxkm
0	7	0,15%	35
1	5	0,11%	25
2	5	0,11%	25
3	5	0,11%	25
4	5	0,11%	25
5	6	0,13%	30
6	83	1,82%	415
7	519	11,37%	2593
8	818	17,92%	4087
9	361	7,91%	1804
10	233	5,10%	1164
11	165	3,61%	824
12	169	3,70%	844
13	165	3,61%	824
14	317	6,94%	1584
15	376	8,23%	1879
16	235	5,15%	1174
17	279	6,11%	1394
18	285	6,24%	1424
19	165	3,61%	824
20	183	4,01%	914
21	156	3,42%	779
22	18	0,39%	90
23	6	0,13%	30
TOTALE	4566	100,00%	22813

Il valore giornaliero è stato poi moltiplicato per 365 per ottenere una stima su base annua. Infine, applicando il fattore medio di emissione pesato di 0,23 kg di CO₂ per km percorso, precedentemente calcolato sulla base dei dati ISPRA e della composizione modale dei veicoli, è stato possibile stimare la **componente emissiva del traffico** indotto dal nuovo ospedale, pari a **1.893 tCO₂eq/anno**.

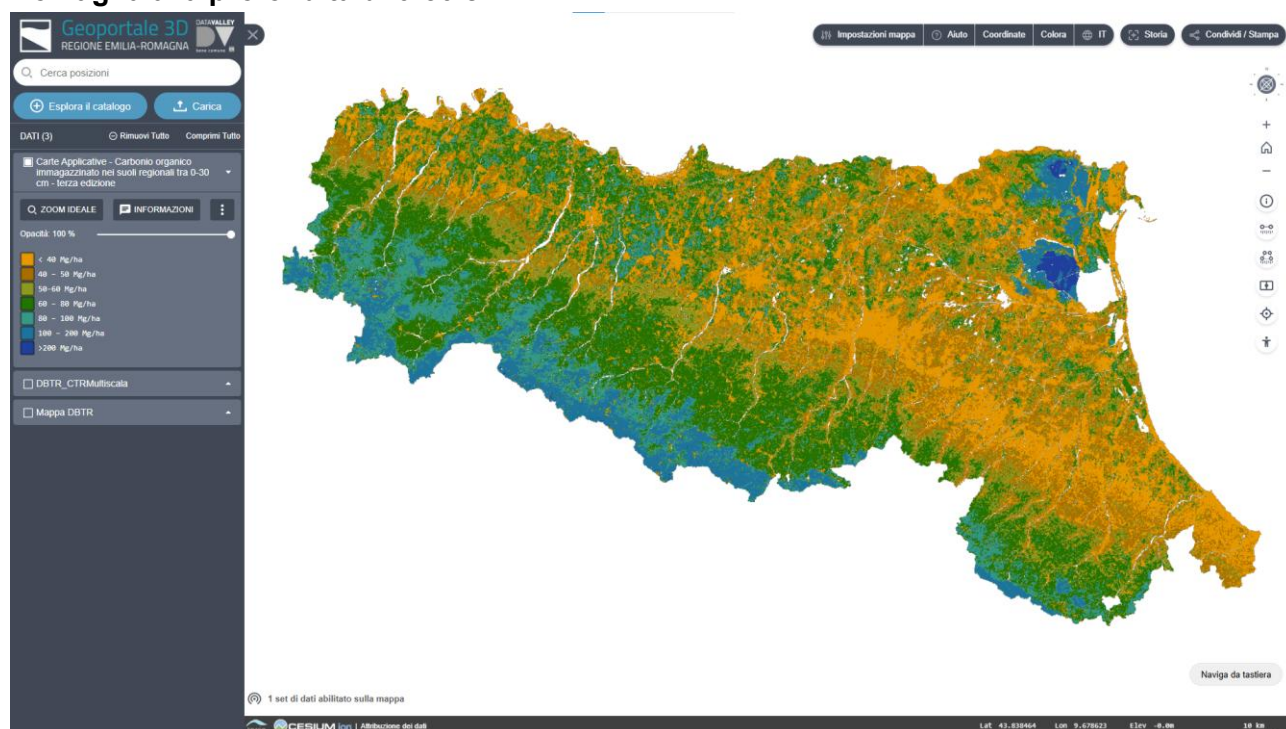
2.4 Perdita assorbimento CO₂ dovuta a impermeabilizzazione dei suoli (SOIL SEALING)

Il carbonio organico immagazzinato nei suoli o soil organic carbon stock (**SOC-Stock**) descrive il quantitativo di carbonio organico contenuto in un dato spessore di suolo per unità di superficie. È espresso in Mg/ha e tiene conto anche delle aree prive di suolo che di fatto annullano la capacità di immagazzinamento del carbonio organico. Dal SOC-Stock è possibile stimare la quantità di CO₂ immagazzinata nei suoli regionali attraverso la relazione **CO₂eq. = SOC-stock * 3,667**. La conoscenza del contenuto attuale di carbonio organico dei suoli permette non solo di valutare lo stato qualitativo dei suoli ma anche di stimare la quantità di CO₂ immagazzinata e i potenziali di accumulo o perdita in seguito a variazioni d'uso o a modifiche di gestione.

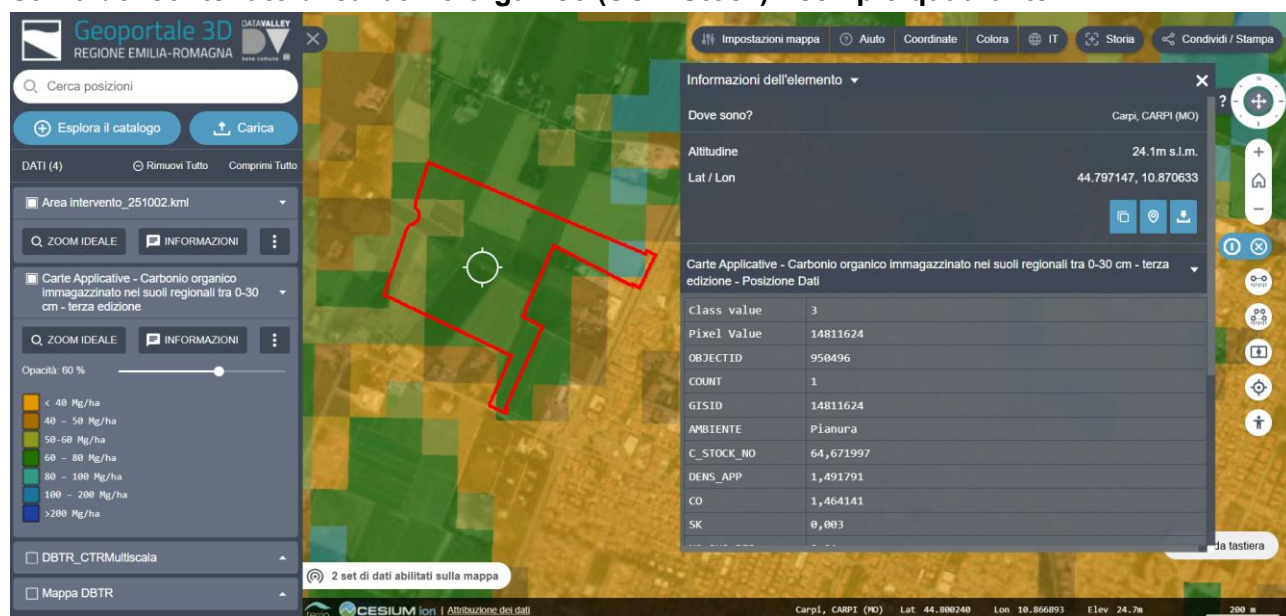
La Carta del carbonio organico immagazzinato nei suoli della regione Emilia-Romagna fornisce il dato del contenuto di CO in Mg/ha nei primi 30 cm di suolo. Il valore è stimato considerando la distribuzione dei diversi tipi di suolo e l'incidenza delle superfici di non suolo, intese come aree occupate da acque superficiali, urbano ed infrastrutture. La rappresentazione del territorio avviene attraverso un raster con pixel con lato di 100 m. L'attribuzione del valore alla cella è il risultato di un'analisi geostatistica in pianura e di Digital Soil Mapping in Appennino; la distinzione tra aree

occupate da suolo e quelle occupate da non suolo deriva dalla Carta dell'uso del suolo 2017 ed.2020, elaborata dal Settore innovazione digitale, dati, tecnologia e polo archivistico della Regione Emilia-Romagna.

Stima del contenuto di carbonio organico (SOC-Stock) nei suoli della regione Emilia-Romagna alla profondità di 0-30 cm



Stima del contenuto di carbonio organico (SOC-Stock) Esempio quadrante



Nello specifico l'area di intervento ricade in 23 quadranti aventi i seguenti valori di SOC – Stock:

OBJECTID	SOC- Stock [Mg/ha]
951409	61,22

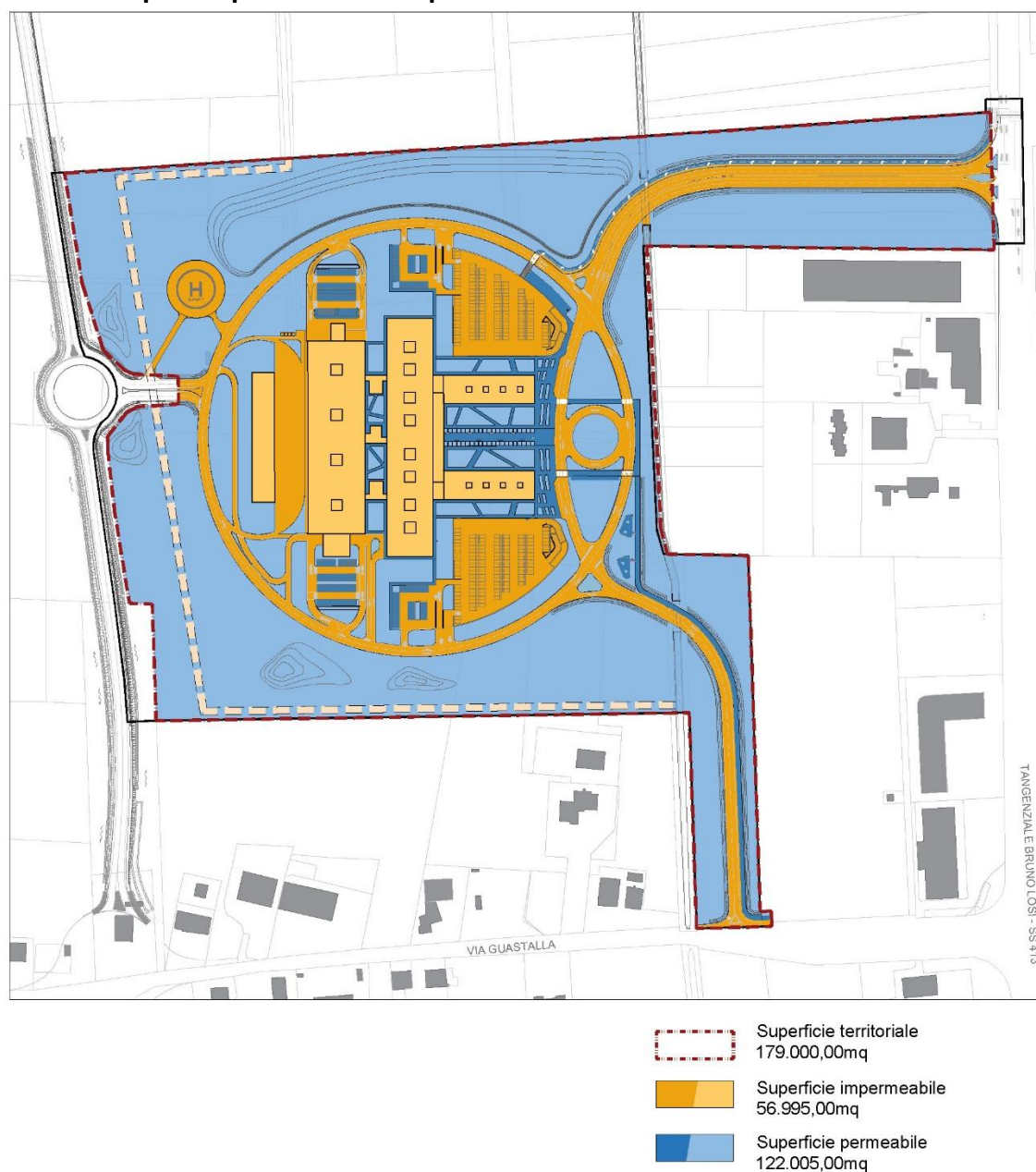
OBJECTID	SOC- Stock [Mg/ha]
949579	60,49

OBJECTID	SOC- Stock [Mg/ha]
948665	55,60

951410	65,15	950496	64,67	949581	60,79
951411	65,13	951413	69,91	950498	69,19
950494	61,49	952329	68,71		
949577	60,20	953242	61,58		
951412	72,62	954153	85,93		
950495	67,95	952330	71,38		
949578	65,82	951414	75,71		
948663	59,40	950497	69,13	Valore medio	65,62
948664	58,07	949580	59,08		

Per valutare il carbonio stoccato nell'area oggetto di intervento che andrà perso a seguito della realizzazione dell'opera, si considera un valore uniforme pari alla media dei valori sopra riportati, ovvero **65,62 Mg/ha**.

Schema superfici permeabili e impermeabili



Il calcolo viene limitato alla superficie che nello scenario futuro risulterà effettivamente **impermeabilizzata** ossia pari a **56.995,00 mq (5,7 ha)** rispetto alla superficie complessiva dell'area di intervento di 179.000,00 m².

Se ne deduce quindi che il carbonio organico perso per effetto dell'impermeabilizzazione e la CO₂ ad esso associata risultano essere pari a:

- SOC – Stock: 5,7 ha * 65,62 Mg/ha = **374,03 Mg CO**
- CO₂ potenziale: 374,03 Mg CO * 3,667 = **1371,57 tCO₂**

D'altra parte, occorre considerare anche che la porzione di suolo permeabile, sottratta alla coltivazione e destinata alla piantumazione di essenze arboree e arbustive o, più semplicemente, alla formazione di un prato stabile, nel tempo si caratterizzerà per un accumulo di carbonio superiore rispetto a quello attuale derivante dalle normali pratiche agricole.

Tale valore può essere calcolato a partire dalla tabella seguente, desunto dalla metodologia con la quale è stata costruita la carta del SOC Stock nei primi 30 cm di suolo.

SOC-Stock nei primi 30 cm di suolo nei diversi territori e usi del suolo regionali

	CORINE Land Cover 2° Livello		Superficie (ha)	% superficie regionale	Valore medio SOC-Stock (Mg/ha)	Contenuto totale Stock (Mt)	% SOC-Stock sul totale
TERRITORI AGRICOLI	21	Seminativi	969080	43.2	58.3	56.5	42.1
	22	Colture permanenti	139591	6.2	46.6	6.5	4.8
	23	Prati stabili	79898	3.6	67.3	5.4	4.0
	24	Zone agricole eterogenee	13829	0.6	60.0	0.8	0.6
		totale	1202398	53.6		69.2	51.6
TERRITORI BOSCATI E SEMINATURALI	31	Aree boscate	555534	24.7	78.9	43.8	32.7
	32	Ambienti con vegetazione arbustiva e/o erbacea in evoluzione	94362	4.2	65.2	6.1	4.6
	33	Zone aperte con vegetazione rada o assente	27015	1.2	29.1	0.8	0.6
		totale	676911	30.1		50.7	37.8

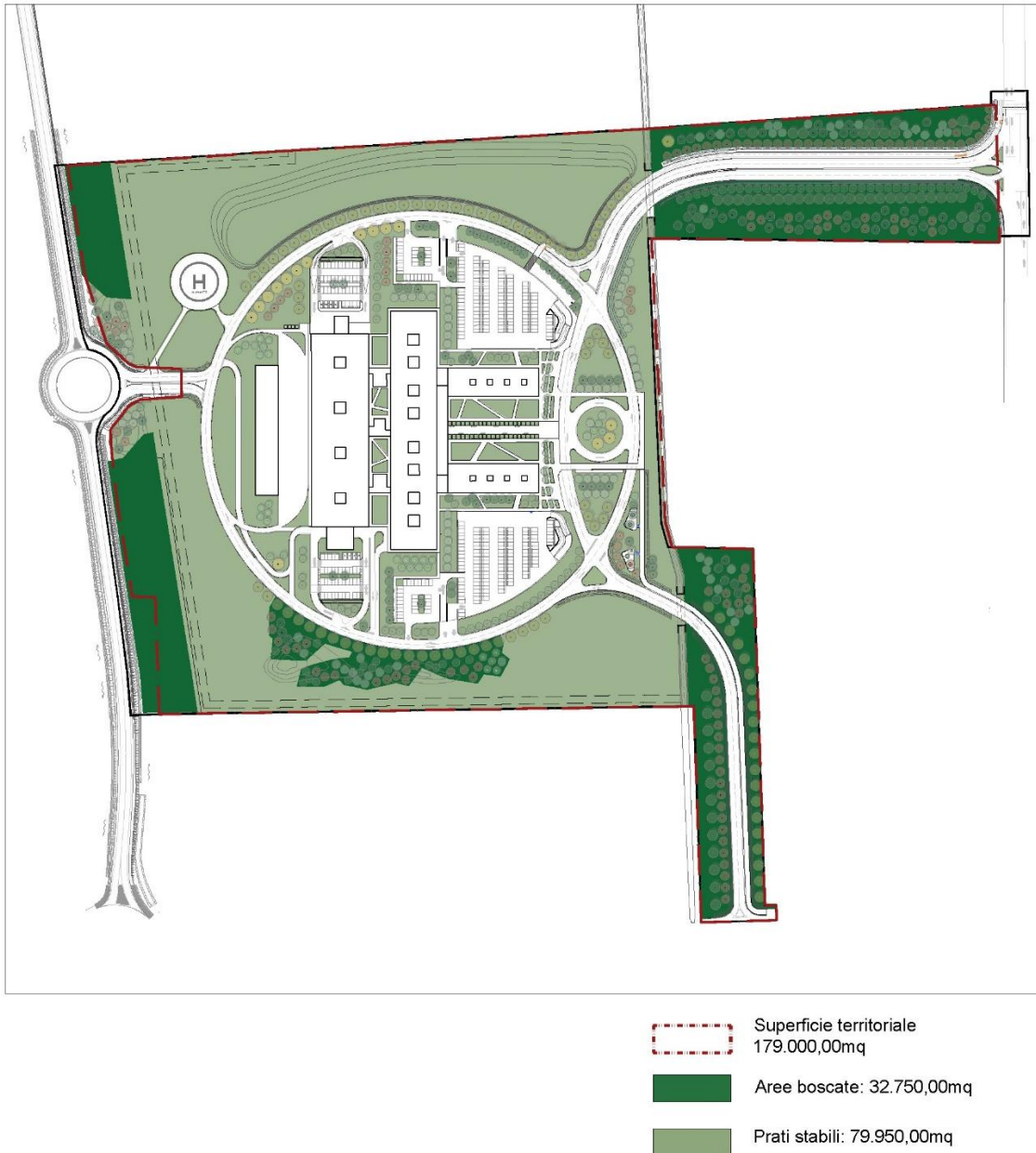
Di conseguenza, si presume che lo Stock di CO specifico sia assimilabile a:

- Aree Boscate: **78,9 Mg/ha**
- Prati Stabili: **67,3 Mg/ha**

La **superficie permeabile** complessiva di progetto risulta essere pari a **122.005,00 mq**, di cui:

- **32.750,00 mq (3,27 ha)** assimilabile ad **area boscata**, composta da aree di compensazione ambientale con piantagione forestale permanente e fasce boscate lungo le strade d'accesso all'ospedale;
- **79.950,00 mq (7,99 ha)** assimilabile a **prato stabile**, composta dalle restanti aree verdi di progetto;
- **9.305 mq (0,93 ha)** di percorsi e pavimentazioni permeabili.

Schema superfici prati stabili e aree boscate



In sostanza, la trasformazione di tali aree, rispetto all'uso agricolo, incrementa lo Stock di Carbonio delle seguenti quantità:

- SOC – Stock (Area Boscata): $78,9 \text{ Mg/ha} - 65,62 \text{ Mg/ha} = 13,28 \text{ Mg/ha}$
- SOC – Stock (Area a prato): $67,3 \text{ Mg/ha} - 65,62 \text{ Mg/ha} = 1,68 \text{ Mg/ha}$

Se ne deduce quindi che, la quota aggiuntiva di carbonio organico stoccato e CO_2 ad esso associata, imputabile a terreni sottratti alla coltivazione agricola ma non impermeabilizzati, sui quali si interviene mettendo a dimora alberi, arbusti o semplicemente realizzando del prato, risultino essere pari a:

- SOC – Stock: $3,27 \text{ ha} * 13,28 \text{ Mg/ha} + 7,99 \text{ ha} * 1,68 \text{ Mg/ha} = \mathbf{56,85 \text{ Mg CO}}$
- CO_2 potenziale: $56,85 \text{ Mg CO} * 3,667 = \mathbf{208,47 \text{ tCO}_2}$

A questo punto può essere stilato un bilancio relativamente agli effetti sullo Stock di Carbonio e al potenziale di assorbimento della CO_2 , a seguito della realizzazione dell'intervento.

	Impermeabilizzazione del suolo agricolo	Trasformazione da suolo agricolo a prato o area boscata	Differenza
Totale SOC – Stock [Mg]	-374,03	+56,85	-317,18
Totale CO2 potenziale [tCO ₂]	-1.371,57	+208,47	-1.163,1

Per effetto quindi dell'impermeabilizzazione di parte dell'ambito di intervento, nonostante l'incremento ottenibile dall'inserimento di essenze arboree e arbustive, si ha una perdita dello Stock di Carbonio pari a **317 Mg** cui è associata una perdita nell'assorbimento di CO₂ potenziale di **1.163 tCO₂**.

3 PIANTUMAZIONI

L'intervento prevede la messa a dimora di **686 alberi** all'interno del perimetro dell'area ospedaliera, articolati secondo criteri compositivi e funzionali che ne ottimizzano l'efficacia ambientale, ecologica e paesaggistica. Le essenze arboree complessive sono rappresentate nella tavola "*Planimetria generale opere a verde/arredi*", in cui viene illustrata anche la distribuzione spaziale delle alberature, aggregate in filari, gruppi compatti a formare nuclei boscati e in soluzioni puntuali per il completamento e la qualificazione delle aree verdi interstiziali.

La scelta delle specie vegetali è stata effettuata privilegiando essenze autoctone e caratterizzate da elevata capacità di assorbimento di CO₂, al fine di potenziare la funzione di mitigazione climatica e compensazione delle emissioni climalteranti generate dall'intervento edilizio.

Le principali specie arboree selezionate sono:

- Ostrya carpinifolia
- Acer campestre
- Quercus pubescens
- Tilia cordata "Greenspire"
- Ginkgo biloba
- Cercis siliquastrum
- Celtis australis
- Morus alba fruitless
- Fraxinus oxycarpa/angustifolia

Tutte le essenze sono conformi alle indicazioni del Regolamento del Verde comunale e sono state scelte anche in funzione della loro adattabilità al contesto climatico locale, resilienza agli stress idrici, lunga durata nel tempo e capacità di contribuire alla biodiversità urbana.

Tale impostazione progettuale consente di integrare la componente vegetale in modo sinergico con gli altri ambiti dell'intervento, assicurando al contempo un beneficio ambientale strutturato, duraturo e quantificabile in termini di assorbimento di CO₂, riduzione dell'effetto isola di calore, miglioramento del comfort microclimatico e qualificazione ecologico-paesaggistica del nuovo polo ospedaliero.

In via cautelativa, si è scelto di non considerare, ai fini del calcolo complessivo, la componente di stoccaggio di CO₂ associata agli arbusti. Tale decisione è stata presa in quanto il contributo degli arbusti all'assorbimento totale di anidride carbonica risulta estremamente limitato e, pertanto, trascurabile rispetto a quello fornito dalle alberature.

La **stima dell'assorbimento di CO₂** apportato dall'intervento di piantumazione in progetto sulla qualità dell'aria locale e sul riscaldamento globale è stata effettuata sulla base delle informazioni riportate nel foglio di calcolo "BENEFITS- BENEFici ecosistemi dell'infraStruttura verde urbana" realizzato nell'ambito del corso di formazione **REBUS®** REnovation of public Buildings and Urban Spaces ideato dal Servizio Pianificazione Territoriale e Urbanistica, dei Trasporti e del Paesaggio della Regione Emilia Romagna. L'analisi considera le specie selezionate in fase progettuale, la loro capacità media di assorbimento in funzione del diametro e dell'età, nonché l'orizzonte temporale di riferimento, assunto pari a 20 anni per garantire una proiezione attendibile degli effetti di mitigazione.

Il foglio di calcolo riporta, per le principali specie arboree utilizzate per scopi ornamentali in Italia, il potenziale di abbattimento degli inquinanti e la CO₂ potenzialmente assimilata e stoccata.

Nella seguente figura si riporta un estratto del foglio di calcolo BENEFITS.

REBUS® REnovation of public Buildings and Urban Spaces								
NOME LATINO	NOME VULGARE	FAMIGLIA	GENERE	NUMERO PIANTE	Potenziale CO2 stoccata nuovo impianto (kg):	Potenziale CO2 assimilata nuovo impianto (kg/y):	TOTALE CO2 STOCCATA (kg)	TOTALE CO2 ASSIMILATA (kg/y)
<i>Acacia dealbata</i>	Mimosa	Fabaceae	Acacia		5	5	0	0
<i>Acer campestre</i>	Acer campestre	Sapindaceae	Acer		8	3	0	0
<i>Acer negundo</i>	Acer americano	Sapindaceae	Acer		8	3	0	0
<i>Acer platanoides</i>	Acer riccio	Sapindaceae	Acer		8	7	0	0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Acer di monte	Sapindaceae	Acer		8	4	0	0
<i>Acer rubrum</i>	Acer rosso	Sapindaceae	Acer		8	8	0	0
<i>Acer saccharinum</i>	Acer argenteo	Sapindaceae	Acer		8	7	0	0
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Acacia dealbata	Sapindaceae	Aesculus		6	5	0	0
<i>Aesculus x carnea</i>	Ippocastano rosso	Sapindaceae	Aesculus		3	5	0	0
<i>Alnus incana</i>	Albero del paradiso	Simarubaceae	Alnus		6	5	0	0
<i>Albizia julibrissis</i>	Acacia di Costantinopoli	Fabaceae	Albizia		5	5	0	0
<i>Araucaria araucana</i>	Araucaria del Cile	Araucariaceae	Araucaria		2	2	0	0
<i>Bauhinia purpurea</i>	Bauhinia purpurea	Fabaceae	Bauhinia		1	1	0	0
<i>Betula nigra</i>	Betulla del fiume	Betulaceae	Betula		8	4	0	0
<i>Betula papyrifera</i>	Betulla da carta	Betulaceae	Betula		8	4	0	0
<i>Betula pendula</i>	Betulla bianca	Betulaceae	Betula		8	4	0	0

Per i dati relativi al potenziale abbattimento degli inquinanti si è fatto riferimento al progetto **"Qualiviva - la qualità nella filiera florovivaistica nazionale attraverso l'utilizzo e la divulgazione delle schede varietali e di un capitolato unico di appalto per le opere a verde"**, un progetto di ricerca finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

I calcoli, come riportato anche nelle schede, sono delle stime indicative, quindi parametri non precisi, riferiti a due fasi di crescita delle piante: **nuovo impianto** ed **esemplare maturo**. Inoltre, la capacità delle piante di assorbire inquinanti dipende dalla posizione di messa a dimora, dalla loro vigoria, dallo stato fitosanitario, dalle potature effettuate e dall'interazione di molteplici fattori non predicibili a tavolino. I valori di calcolo ottenuti hanno fornito una stima dell'anidride carbonica stoccata, assimilata e degli inquinanti rimossi ogni anno dalle piante.

I risultati, sintetizzati nella tabella seguente, evidenziano il contributo complessivo delle alberature di progetto alla riduzione del bilancio emissivo dell'intervento. Per una visione dettagliata dei dati, si rimanda al foglio di calcolo REBUS®, riportato nell'**Allegato A** del presente elaborato.

Dati utilizzati per il calcolo della quantità di CO₂ assorbita dalle piantumazioni in progetto

NOME LATINO	NOME VOLGARE	NUMERO PIANTE	TOTALE CO ₂ STOCCATA (kg) nuovo impianto	TOTALE CO ₂ ASSIMILATA (kg/y) nuovo impianto	TOTALE CO ₂ STOCCATA (kg) esemplare maturo	TOTALE CO ₂ ASSIMILATA (kg/y) esemplare maturo
Acer campestre	Acero campestre	107	856	321	53393	12840
Celtis australis	Bagolaro	54	324	270	201420	17550
Cercis siliquastrum	Albero di Giuda	130	260	260	18200	2340
Fraxinus oxycarpa	Frassino orniello	33	198	165	54945	5544
Ginkgo biloba	Ginkgo biloba	16	128	64	57696	9584
Morus spp.	Gelso	94	752	376	46906	13348
Ostrya carpinifolia	Carpino nero	116	928	464	57884	16472
Quercus robur	Farnia	41	246	205	283638	17876
Tilia cordata	Tiglio selvatico	95	380	760	342570	56905
Totale		686	4072	2885	1116652	152459

Una volta che le 686 essenze arboree saranno **giunte a maturità**, queste piante saranno in grado di assorbire **ogni anno** un totale stimato di **152.459 kg (152,5t)** di anidride carbonica dall'atmosfera. Questo valore corrisponde a una **capacità media di assorbimento** di circa **222 kg di CO₂ per singolo esemplare all'anno**, evidenziando il significativo contributo che tale intervento arboreo apporta alla mitigazione delle emissioni di gas serra e al miglioramento della qualità dell'aria.

Per ottenere una **verifica** più ampia e approfondita delle caratteristiche delle alberature di progetto e dei **dati relativi alla CO₂ assimilata e stoccata**, è stato condotto un confronto tra diverse fonti e strumenti di calcolo. In particolare, sono state analizzate le schede di ciascuna specie arborea di progetto presenti nel **Catalogo "Alberi per la città"**, realizzato *dall'Osservatorio Regionale per la Qualità del Paesaggio Emilia-Romagna* in collaborazione con i Dipartimenti di Scienze e Tecnologie Agroalimentari e di Architettura dell'Università di Bologna e con il Settore Patrimonio Culturale, finanziato attraverso il programma *"Mettiamo Radici per il Futuro"*. Le schede relative alle alberature di progetto sono riportate nell'**Allegato B** del presente documento.

Oltre a queste fonti, per affinare la valutazione delle capacità di assorbimento di CO₂ delle diverse specie in funzione della dimensione del tronco, è stato utilizzato anche il tool **VIVAM**, sviluppato nell'ambito del progetto **"floroVIVaismo di qualità per la mitigazione e sostenibilità ambientale"**, promosso dall'IBE-CNR (Istituto per la BioEconomia / ex IBIMET). Questo strumento, combinando i

principali parametri biometrici degli alberi – diametro a petto d'uomo (DBH = 130 cm), età, stato fitosanitario ed esposizione alla radiazione solare – permette di calcolare il sequestro di CO₂ e di altri inquinanti atmosferici in base alla località di impianto, al numero di esemplari e ai diametri del tronco (iniziale e obiettivo). Le simulazioni sono state effettuate per ciascuna delle specie arboree previste a progetto, considerando il relativo **numero di esemplari**, utilizzando il modello **i-Tree Eco v6.0.21** per stimare i valori di CO₂ cumulata e sequestrata. I risultati di queste elaborazioni sono raccolti nell'**Allegato C** del presente elaborato.

Al fine di effettuare un **bilancio coerente e confrontabile** tra i valori di CO₂ stoccata derivanti da **strumenti diversi**, è stato necessario armonizzare i dati considerando le specie effettivamente presenti a progetto e quelle disponibili nei rispettivi database botanici. È ragionevole considerare che **specie appartenenti allo stesso genere**, e per di più molto simili tra loro dal punto di vista morfologico e fisiologico, presentino caratteristiche comparabili in termini di capacità di sequestro di carbonio. Pertanto, per allineare le stime ed evitare discrepanze tra i diversi strumenti, garantendo al contempo coerenza con la configurazione delle specie di progetto, si è operato come segue:

- Per il **Morus alba 'Fruitless'**, all'interno del foglio di calcolo REBUS è stato utilizzato il **Morus spp.** come specie di riferimento, mentre su VIVAM è stato considerato il **Morus alba 'Pendula'**;
- Per il **Quercus pubescens**, all'interno del foglio di calcolo REBUS è stato utilizzato il **Quercus robur** come specie di riferimento;
- Per il **Fraxinus oxycarpa**, su VIVAM è stato considerato il **Fraxinus excelsior**.

Oltre alla componente vegetale di progetto finora analizzata, è stata individuata una specifica area di forestazione all'interno del comparto ospedaliero, per una dimensione complessiva di circa **9.200 mq (0,92 ha)**. In queste aree verranno messi a dimora complessivamente **736 alberi**, con una densità media di impianto di circa 800 esemplari per ettaro. La forestazione sarà costituita da un bosco misto di latifoglie, con prevalenza di Roverelle (*Quercus pubescens*) e Cerri (*Quercus cerris*), specie selezionate per la loro elevata capacità di assorbimento di CO₂.

Il **valore medio di assorbimento annuale**, pari a **222 kgCO₂** per **esemplare maturo**, precedentemente calcolato sulla base delle specie e della densità previste a **progetto**, è ritenuto applicabile anche alle aree di forestazione aggiuntiva, in quanto caratterizzate da **specie analoghe e quantità proporzionali**.

Sulla base di questa stima, l'intervento di forestazione è in grado di assorbire un totale di circa **163,4 tCO₂** all'anno a **raggiungimento della maturità delle alberature**, contribuendo al bilancio emissivo complessivo del progetto.

4 BILANCIO FINALE E CONCLUSIONI

Sulla base delle valutazioni svolte in precedenza è possibile svolgere un bilancio complessivo in termini di perdita o incremento della capacità di assorbimento e riduzione delle emissioni climalteranti in termini di CO₂.

In particolare, vengono considerati con il segno positivo tutti quegli interventi che comportano una perdita della capacità di assorbimento mentre con il segno negativo tutti quelli che incrementano tale capacità.

Nella seguente tabella è riportato il dettaglio delle diverse voci considerate nel bilancio emissivo.

Bilancio emissivo in termini di tCO₂ derivante dall'attuazione dell'intervento

Incrementi / Riduzioni dell'assorbimento CO ₂ derivante dall'attuazione dell'intervento	CO ₂ eq [t/anno]
Emissioni di CO ₂ componente termica ed elettrica	+1983
Emissioni di CO ₂ componente rifiuti	+7
Emissioni di CO ₂ componente traffico indotto	+1893
Perdita assorbimento CO ₂ dovuta a impermeabilizzazione terreni agricoli	+1372
Totale Incrementi	+5255
Incremento assorbimento CO ₂ dovuto ad aree verdi rispetto a terreni agricoli	-208
Assorbimento CO ₂ alberature a progetto a maturazione	-152
Assorbimento CO ₂ alberature a maturazione aree di forestazione	-163
Totale Riduzioni	-523
TOTALE Bilancio Emissivo annuo	+4732

L'attuazione del comparto ospedaliero comporta un incremento complessivo delle emissioni annue pari a circa **+5.255 tCO₂**, determinato principalmente dalla componente termica ed elettrica dell'edificio (+1.983 tCO₂/anno) e dal traffico indotto (+1.893 tCO₂/anno), seguiti dalla perdita di assorbimento dovuta all'impermeabilizzazione dei terreni agricoli (+1.372 tCO₂/anno).

Gli interventi di mitigazione previsti - tra cui la realizzazione di aree verdi, nuove alberature e area di forestazione - consentono, a maturazione della vegetazione, una riduzione complessiva di **circa 523 tCO₂/anno**, pari a un **abbattimento del 10%** rispetto al bilancio emissivo teorico iniziale (+5.225 tCO₂/anno), portando il totale a **+4.732 tCO₂/anno**.

Le stime condotte per ciascuna delle componenti emissive sono state derivate da relazioni specialistiche, simulazioni e modelli previsionali coerenti con la destinazione funzionale dell'intervento e con le soluzioni impiantistiche attualmente ipotizzate. Tuttavia, è importante sottolineare che tali stime, per quanto fondate e cautelative, non rappresentano ancora una fotografia definitiva delle reali prestazioni del futuro edificio ospedaliero, che sarà raggiunta solo in fase di progettazione esecutiva.

Per tale motivo, si prescrive l'**aggiornamento del bilancio emissivo** una volta che saranno disponibili i dati di dettaglio derivanti dalla **progettazione esecutiva**, fase nella quale sarà possibile effettuare una valutazione più puntuale e aderente alla configurazione finale dell'opera, anche in relazione all'effettiva composizione tecnologica dei sistemi edilizi e impiantistici e alla definizione degli scenari di esercizio.

In sintesi, pur in presenza di una fase progettuale ancora non definitiva, il presente bilancio emissivo rappresenta un punto di partenza solido e coerente con gli obiettivi normativi, strategici e ambientali dell'intervento, e potrà essere affinato e verificato puntualmente in sede esecutiva per migliorare l'impatto ambientale dell'opera.

5 ALLEGATO A – FOGLIO DI CALCOLO REBUS

6 ALLEGATO B – SCHEDE DA CATALOGO “ALBERI PER LA CITTÀ”

7 ALLEGATO C – SIMULAZIONI MODELLO “VIVAM”

5 ALLEGATO A – FOGLIO DI CALCOLO REBUS

Autore	Attività	Gara	Esecuzione
vari	SF/10/19		

IL PRESENTE ELABORATO È DI PROPRIETÀ DELL'AUSL DI MODENA E NON PUÒ ESSERE RIPRODOTTO NEPPURE PARZIALMENTE SENZA AUTORIZZAZIONE

6 ALLEGATO B – SCHEDE DA CATALOGO “ALBERI PER LA CITTÀ”

Autore	Attività	Gara	Esecuzione
vari	SF/10/19		

IL PRESENTE ELABORATO È DI PROPRIETÀ DELL'AUSL DI MODENA E NON PUÒ ESSERE RIPRODOTTO NEPPURE PARZIALMENTE SENZA AUTORIZZAZIONE

Dimensione	 Altezza a maturità 7-10m	 Classe di grandezza II	Specie				 Decidua
Ambiente di provenienza	 Pianura	 Collina					
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Viale alberato	 Piazza, piazzale e aiuola	 Mitigazione ambientale e rinaturalizzazione Fasce tampone, rinaturalizzazioni			
Caratteri formali	 Forma chioma Piramidale o ovoidale	 Densità chioma Densa	 Epoca di fioritura Fine primavera	 Caratteristiche fioritura Non vistosa	 Portamento Arboreo	 Taglia chioma Media (10-15m)	
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 499 Medio-basso	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto <0.05 Alto					
Gestione e costi di manutenzione	Poche esigenze di manutenzione: sopporta bene la potatura, se usato come alberatura stradale, dev'essere impostato in vivaio con una sufficiente altezza di impalcatura, in quanto tende a ramificare molto fin dalla base. Se non potata, inoltre, assume un portamento disordinato. Moderata tendenza a sporcare.					 Costi di gestione Bassi	
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Medio alta	 Tolleranza alla salinità Medio alta	 Tolleranza alla compattazione Medio alta	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Funghi: Oidio; antracnosi; verticilliosi; cancro rameale dell'acero. Insetti: metcalfa.	 Suscettibilità alle malattie Medio bassa		
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni Sì	 Potenziali VOCs Isoprene	 Potenziale emissione VOCs Bassa			



Descrizione

Specie decidua, autoctona, ampiamente diffuso in boschi mesofili dal livello del mare fino al Fagetum.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Alberatura stradale.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Fasce tampone, rinaturalizzazioni.
Piccoli e medi spazi.
Buona adattabilità alle condizioni urbane.



- 1 Esemplare in contesto urbano
- 2 Foglia
- 3 Fiore
- 4 Frutto

Dimensione	 Altezza a maturità 15-21m	 Classe di grandezza I	Specie				 Decidua
Ambiente di provenienza	 Pianura	 Collina					
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Viale alberato	 Piazza, piazzale e aiuola	 Mitigazione ambientale e rinaturalizzazione Fasce tampone, rinaturalizzazioni			
Caratteri formali	 Forma chioma Arrotondata	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Fine primavera	 Caratteristiche fioritura Non vistosa	 Colore foglie autunnali Giallognola	 Portamento Arboreo	 Taglia chioma Grande (15-25m)
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 3730 Alto	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto 0,1 Basso					
Gestione e costi di manutenzione	Moderate esigenze di manutenzione: specie poco in grado di compartimentare le carie, quindi eventuali infezioni si diffondono rapidamente. Ha radici superficiali che possono danneggiare marciapiedi e pavimentazioni e possono verificarsi cadute accidentali di rami e piccole branche. Moderata tendenza a sporcare: però gli uccelli che si nutrono dei frutti tendono a produrre molti escrementi.				 Costi di gestione Moderati		
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Alta	 Tolleranza alla salinità Alta	 Tolleranza alla compattazione Alta	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Poco suscettibile a patogeni e parassiti. Fitiopatie: giallume fogliare del bagolaro.	 Suscettibilità alle malattie Bassa		
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No	 Potenziati VOCs Monoterpeni	 Potenziale emissione VOCs Bassa			



Descrizione

Specie decidua, autoctona, ampiamente diffusa in Europa meridionale e in Italia.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Alberatura stradale.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Fasce tampone, rinaturalizzazioni.
Grandi e medi spazi.
Alta adattabilità alle condizioni urbane.



- 1 Esemplare in contesto urbano
- 2 Foglia
- 3 Fiore
- 4 Frutto

Dimensione	 Altezza a maturità 6-12m	 Classe di grandezza II					Specie	 Decidua
Ambiente di provenienza	 Litorale	 Pianura	 Collina	 Montagna				
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Parcheggi	 Piazza, piazzale e aiuola					
Caratteri formali	 Forma chioma Arrotondata	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Inizio primavera	 Caratteristiche fioritura Rosa porpora su legno, vistosa	 Colore foglie autunnali Giallo	 Portamento Arboreo	 Taglia chioma Piccola (<10m)	
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 140 Basso	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto <0,05 Alto						
Gestione e costi di manutenzione	Basse esigenze di manutenzione. Poca tendenza a sporcare.		 Costi di gestione Bassi					
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Alta	 Tolleranza alla salinità Alta	 Tolleranza alla compattazione Bassa	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Poco suscettibile. Funghi: verticilliosi; cancri da nectria.	 Suscettibilità alle malattie Medio alta			
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No						



Descrizione

Specie decidua, autoctona, ampiamente diffusa nel bacino del Mediterraneo.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Parcheggi.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Piccoli e medi spazi.
Buona adattabilità alle condizioni urbane.

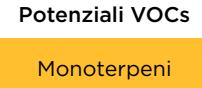


1 Esemplare in fiore

2 Foglia

3 Fiore

4 Frutto

Dimensione	 Altezza a maturità 15-24m	 Classe di grandezza I						Specie	 Decidua
Ambiente di provenienza	 Alloctona Esotica								
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Viale alberato	 Piazza, piazzale e aiuola						
Caratteri formali	 Forma chioma Piramidale da giovane, piramidale o espanso a maturità	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Inizio estate	 Caratteristiche fioritura Dioica, fiori femminili e maschili separati. Non vistosa	 Colore foglie autunnali Vistose gialle	 Portamento Arboreo	 Taglia chioma Grande (15-25m)		
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 3606 Medio-alto	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto 0,1 Basso							
Gestione e costi di manutenzione	Alta tendenza a sporcare negli esemplari femminili: tuttavia le piante femmina danno frutti che una volta rotti emanano un odore sgradevole e possono rendere scivolosi strade e marciapiedi.			 Costi di gestione Moderati					
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Alta	 Tolleranza alla salinità Media	 Tolleranza alla compattazione Medio alta	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Poco suscettibile	 Suscettibilità alle malattie Medio alta				
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No	 Potenziati VOCs Monoterpeni	 Potenziale emissione VOCs Alta	 Tossicità Cattivo odore frutti femminili				



Descrizione

Specie decidua, esotica, originaria della Cina.

Usi suggeriti

Pianta singola ornamentale.
Parchi e giardini.
Alberatura stradale.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Grandi e medi spazi.
Elevata adattabilità alle condizioni urbane.



- 1 Esemplare in contesto urbano
- 2 Esemplare in contesto urbano
- 3 Fiore
- 4 Frutto

Dimensione	 Altezza a maturità 6-15m	 Classe di grandezza III	Specie				 Decidua
Ambiente di provenienza	 Pianura	 Collina	 Alloctona Esotica				
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Parcheggi	 Piazza, piazzale e aiuola				
Caratteri formali	 Forma chioma Arrotondata	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Fine estate	 Caratteristiche fioritura Non vistosa	 Colore foglie autunnali Giallo	 Portamento Arboreo	 Taglia chioma Media (10-15m)
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 499 Medio-basso	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto <0,05 Alto					
Gestione e costi di manutenzione	Basse esigenze di manutenzione: piante molto rustiche che tollerano bene condizioni difficili. Alta tendenza a sporcare, ad eccezione delle cv. sterili 'Hampton' e 'Platanifolia': la presenza dei frutti rende l'uso di queste piante limitato perché soprattutto in estate possono rendere le strade e i marciapiedi scivolosi e attrarre insetti.					 Costi di gestione Bassi	
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Medio alta	 Tolleranza alla salinità Medio alta	 Tolleranza alla compattazione Bassa	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Funghi: marciume radicale da Armillaria; verticilliosi. Insetti: cocciniglie.	 Suscettibilità alle malattie Medio alta		
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No	 Potenziati VOCs Monoterpeni	 Potenziale emissione VOCs Media			

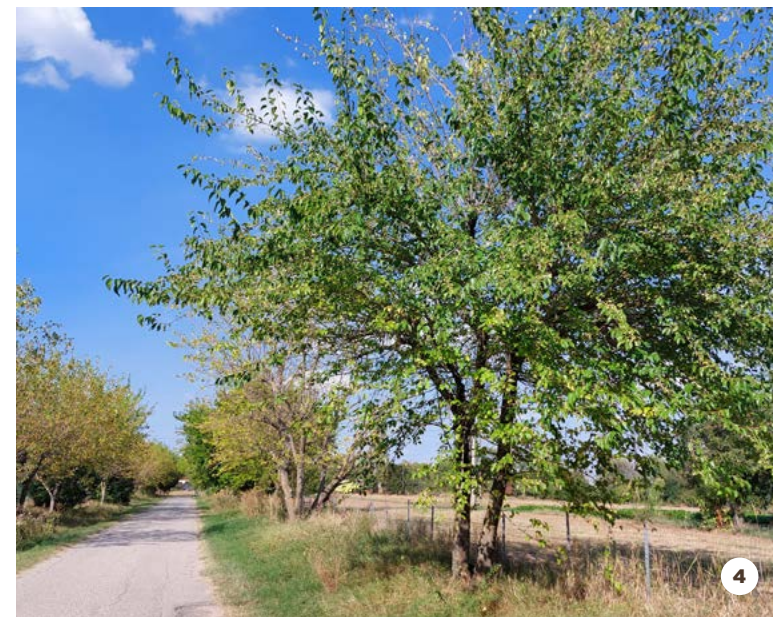


Descrizione

Genere deciduo, esotico, originario della Cina. In Italia, è naturalizzato in Lombardia, Piemonte, Emilia e Friuli.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Parcheggi.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Piccoli e medi spazi.
Buona adattabilità alle condizioni urbane.



- 1 Esemplare
- 2 Foglia
- 3 Frutto
- 4 Esemplici in filare

Dimensione	 Altezza a maturità 8-12m	 Classe di grandezza II	Specie				 Decidua
Ambiente di provenienza	 Collina	 Montagna					
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Viale alberato	 Piazza, piazzale e aiuola	 Mitigazione ambientale e rinaturalizzazione Adatto per rimboschimenti, cortine verdi, alte siepi			
Caratteri formali	 Forma chioma Ovale	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Fine estate	 Caratteristiche fioritura Non vistosa	 Colore foglie autunnali Giallognola	 Portamento Arboreo	 Taglia chioma Grande (15-25m)
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 499 Medio-basso	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto <0,05 Alto					
Gestione e costi di manutenzione	Alta allergenicità. Basse esigenze di manutenzione: tollera bene terreni calcarei e suoli asciutti, sopporta molto bene qualsiasi potatura, resiste molto bene nelle zone industriali con atmosfera inquinata e presenta un'ottima resistenza ai parassiti. Media tendenza a sporcare.					 Costi di gestione Bassi	
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Medio alta	 Tolleranza alla salinità Bassa	 Tolleranza alla compattazione Molto bassa	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Funghi: cancri rameali; carie del legno; septoriosi. Insetti: afidi; Malacosoma.	 Suscettibilità alle malattie Medio bassa		
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No					



Descrizione

Specie decidua, autoctona, ampiamente diffusa in Europa centro meridionale e presente, in Italia, in tutte le regioni eccetto la Valle d'Aosta, fino a 1000 m di quota.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Alberatura stradale.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Adatto per rimboschimenti, cortine verdi, alte siepi.
Grandi e medi spazi.
Buona adattabilità alle condizioni urbane.



1



2

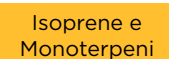


3



4

- 1 Esemplare
Opera propria, Pubblico dominio,
Wikimedia Commons
- 2 Foglie
- 3 Fiore
© <https://unalberoalgiorno.blog/>
- 4 Dettaglio fiore
© <https://unalberoalgiorno.blog/>

Dimensione	 Altezza a maturità 20-25m	 Classe di grandezza I					Specie	 Decidua
Ambiente di provenienza	 Pianura							
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Viale alberato	 Piazza, piazzale e aiuola	 Mitigazione ambientale e rinaturalizzazione Siepi e barriere, rinaturalizzazioni				
Caratteri formali	 Forma chioma Arrotondata o espansa	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Fine primavera	 Caratteristiche fioritura Non vistosa	 Colore foglie autunnali Arancio-marroncina	 Portamento Arboreo		
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 6918 Alto	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto 0,2 Medio-basso						
Gestione e costi di manutenzione	Media allergenicità. Moderate esigenze di manutenzione: Necessita di spazio per svilupparsi. Elevata tendenza a sporcare: le ghiande, nella annate di carica produttiva, possono creare disagi.				 Costi di gestione Moderati			
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Medio alta	 Tolleranza alla salinità Medio alta	 Tolleranza alla compattazione Media	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Funghi: carie del legno; oidio; antracnosi. Insetti: tortricidi della quercia; processionaria della quercia; limantria; bombice; cerambicide delle querce; cinipidi galligeni.	 Suscettibilità alle malattie Bassa			
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No	 Potenziati VOCs Isoprene e Monoterpeni	 Potenziale emissione VOCs Alta+media				



Descrizione

Specie decidua, autoctona, ampiamente diffusa in Europa e in Italia, ad eccezione di Sicilia e Sardegna, fino a 800 m di quota.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Alberatura stradale.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Rinaturalizzazioni.
Siepi e barriere.
Grandi e medi spazi.
Alta adattabilità alle condizioni urbane.



1 Esemplare

2 Foglia

3 Frutto
© <https://unalberoalgiorno.blog/>

4 Foglia in autunno

Dimensione	 Altezza a maturità 18-21m	 Classe di grandezza I					Specie	 Decidua		
Ambiente di provenienza	 Pianura	 Collina	 Montagna							
Posizionamento preferenziale	 Parchi e giardini	 Viale alberato	 Piazza, piazzale e aiuola	 Mitigazione ambientale e rinaturalizzazione Rinaturalizzazioni						
Caratteri formali	 Forma chioma Ovale o piramidale (cv. Greenspire)	 Densità chioma Moderatamente densa	 Epoca di fioritura Inizio estate	 Caratteristiche fioritura Non vistosa	 Colore foglie autunnali Gialla	 Portamento Arboreo				
Funzione ecologica	 Potenziale CO₂ stoccata esemplare maturo basso alto 3606 Medio-alto	 Abbattimento PM10 esemplare maturo (kg) basso alto 0,1 Basso								
Gestione e costi di manutenzione	Media allergenicità. Basse esigenze di manutenzione: pianta resistente all'inquinamento atmosferico, al freddo e alle potature. Alta tendenza a sporcare: imbrattamento da melata.				 Costi di gestione Bassi					
Resistenza e resilienza	 Tolleranza alla siccità Media	 Tolleranza alla salinità Bassa	 Tolleranza alla compattazione Medio alta	 Principali parassiti, patogeni e fitopatie Funghi: Armillaria; carie del legno; cancri rameali; cercosporiosi. Insetti: afidi; limantria; ifantria. Acari: ragnetto giallo.	 Suscettibilità alle malattie Medio alta					
Problematiche	 Invasività Non invasiva	 Allergeni No	 Potenziati VOCs Isoprene	 Potenziale emissione VOCs Bassa	 Tossicità Melata					

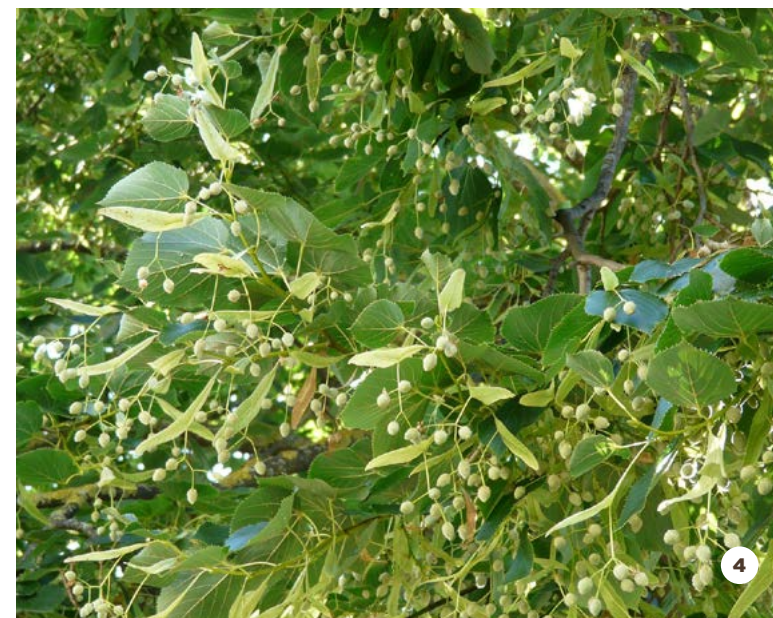


Descrizione

Specie decidua, autoctona, in Italia diffusa prevalentemente al centro nord, ma presente anche in Campania, Basilicata e Calabria, fino a 1400 m di quota. Necessita terreno drenato.

Usi suggeriti

Pianta singola o in gruppo.
Parchi e giardini.
Alberatura stradale.
Piazze, piazzali ed aiuole.
Rinaturalizzazioni.
Grandi e medi spazi.
Buona adattabilità alle condizioni urbane.



1 Esempio in contesto urbano

2 Foglia

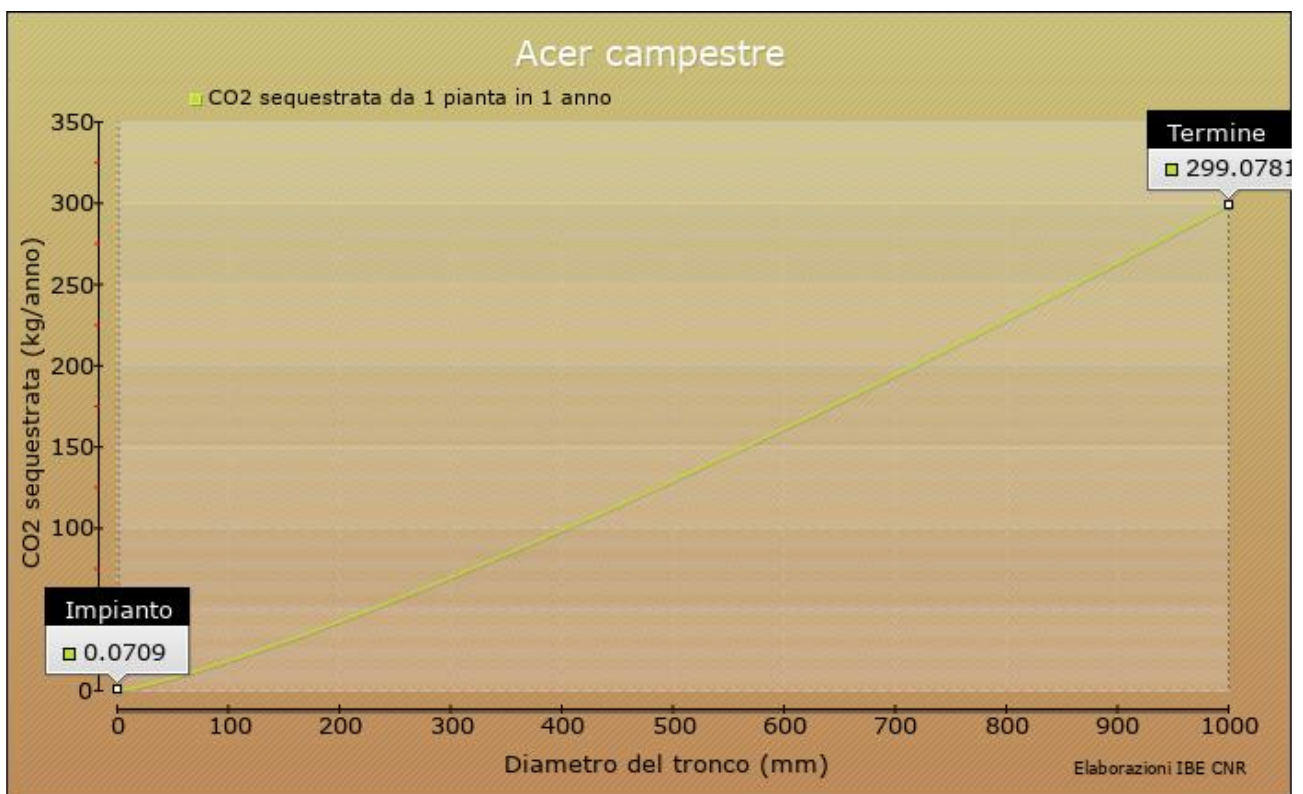
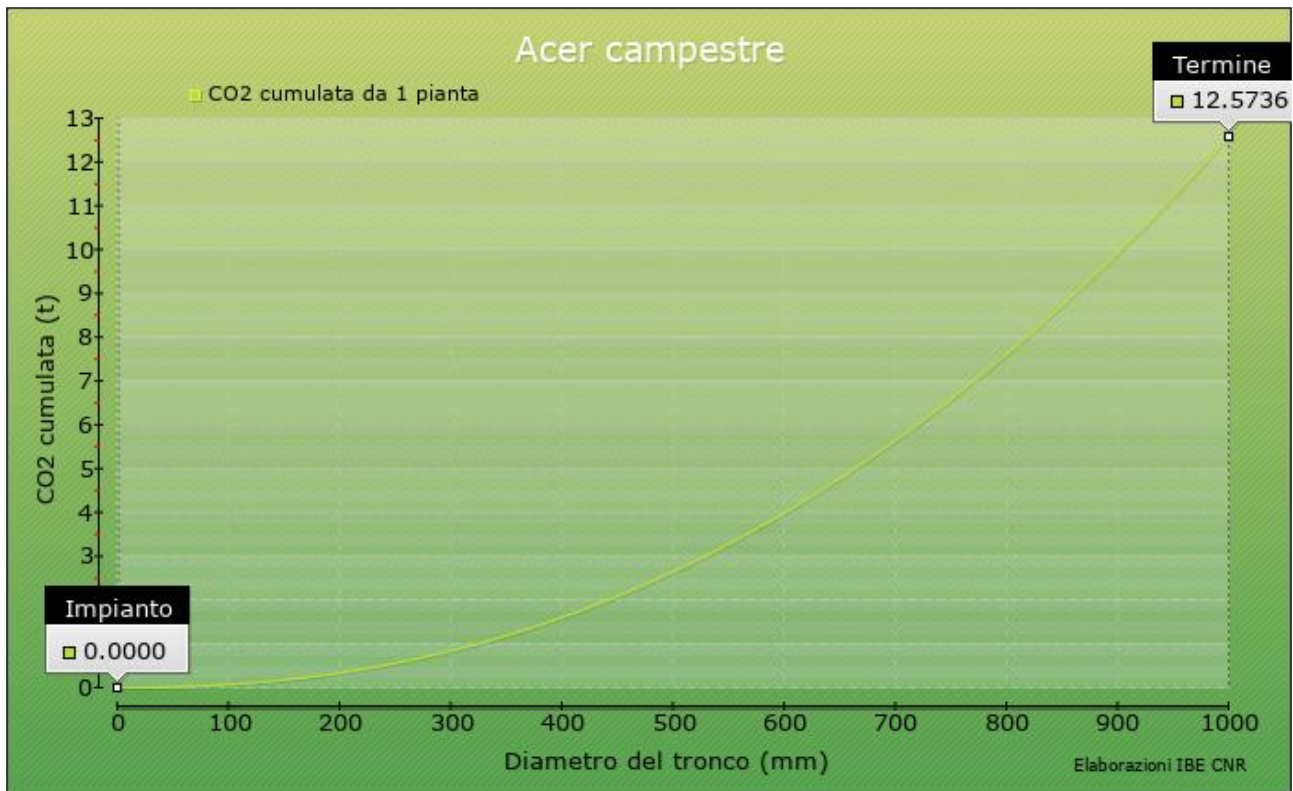
3 Frutto

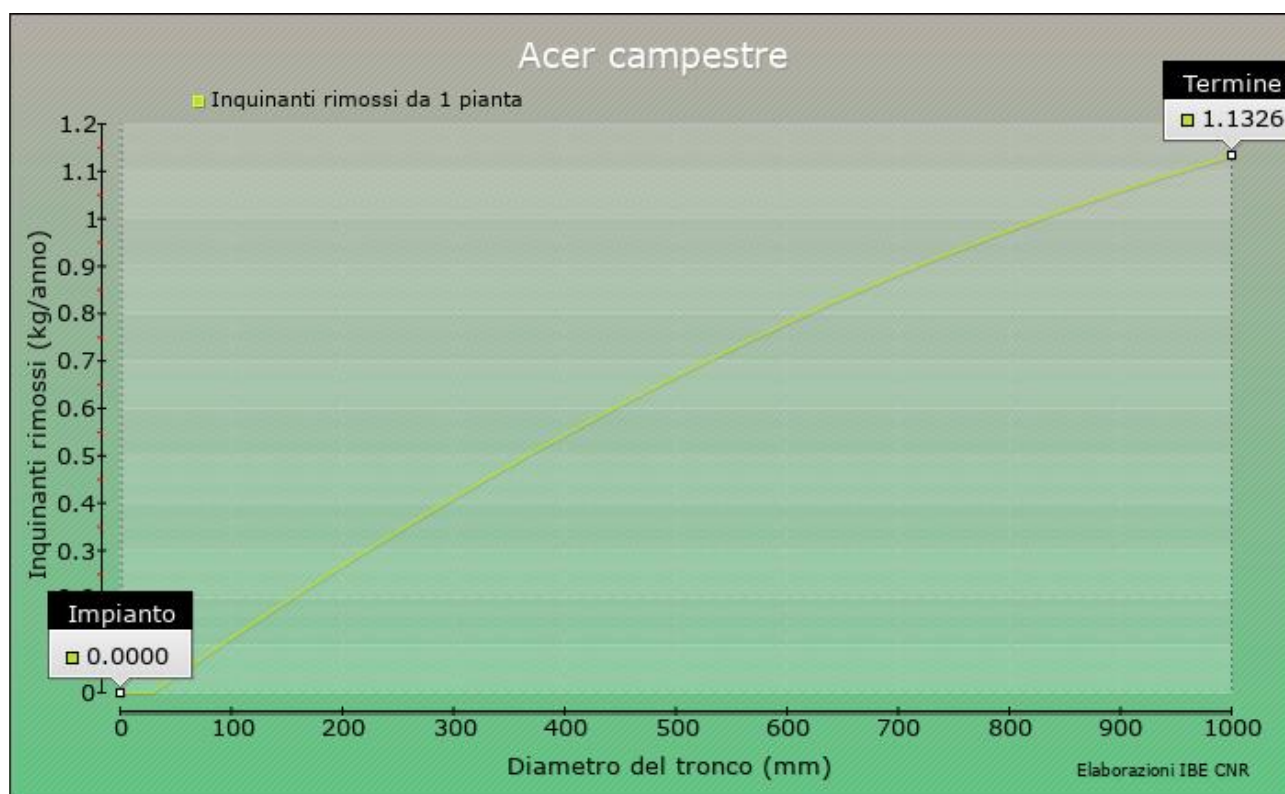
4 Frutto
Hans, Pixabay

7 ALLEGATO C – SIMULAZIONI MODELLO “VIVAM”

7.1 Acer campestre

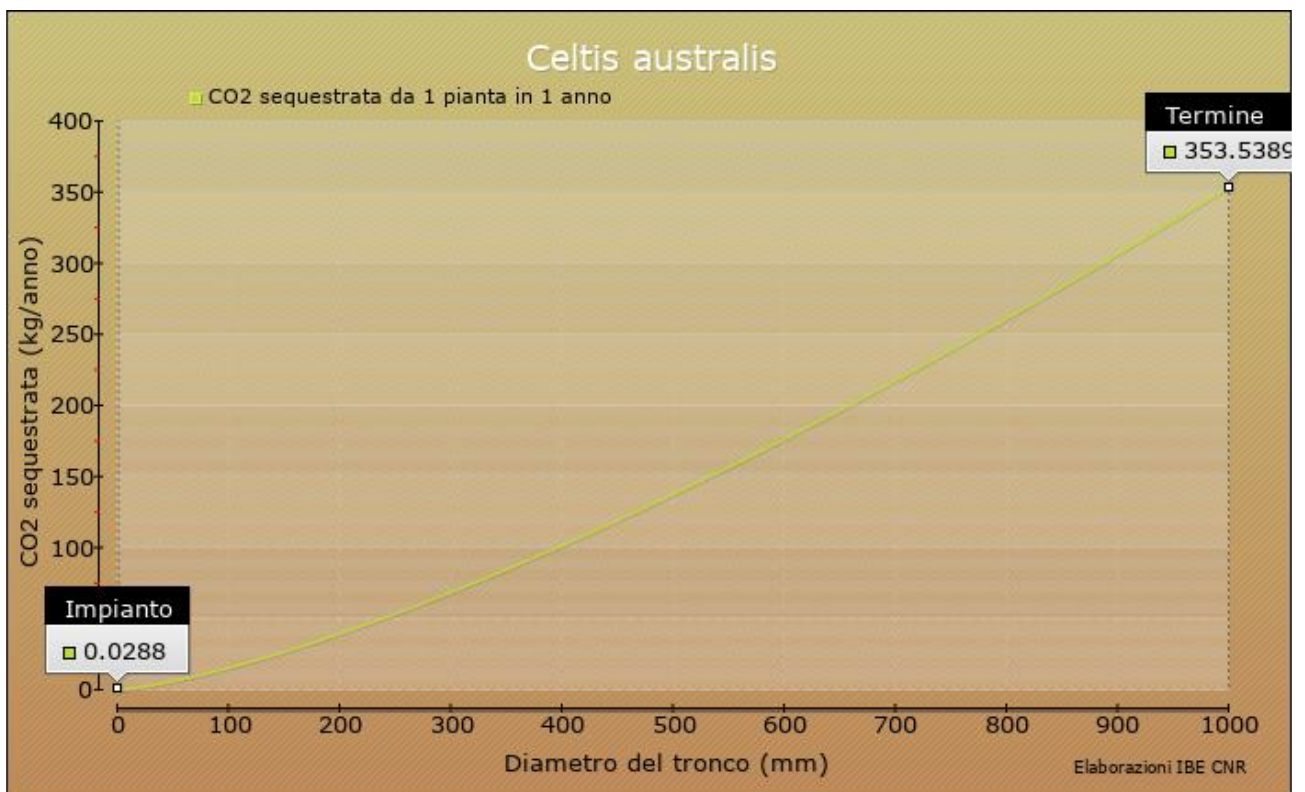
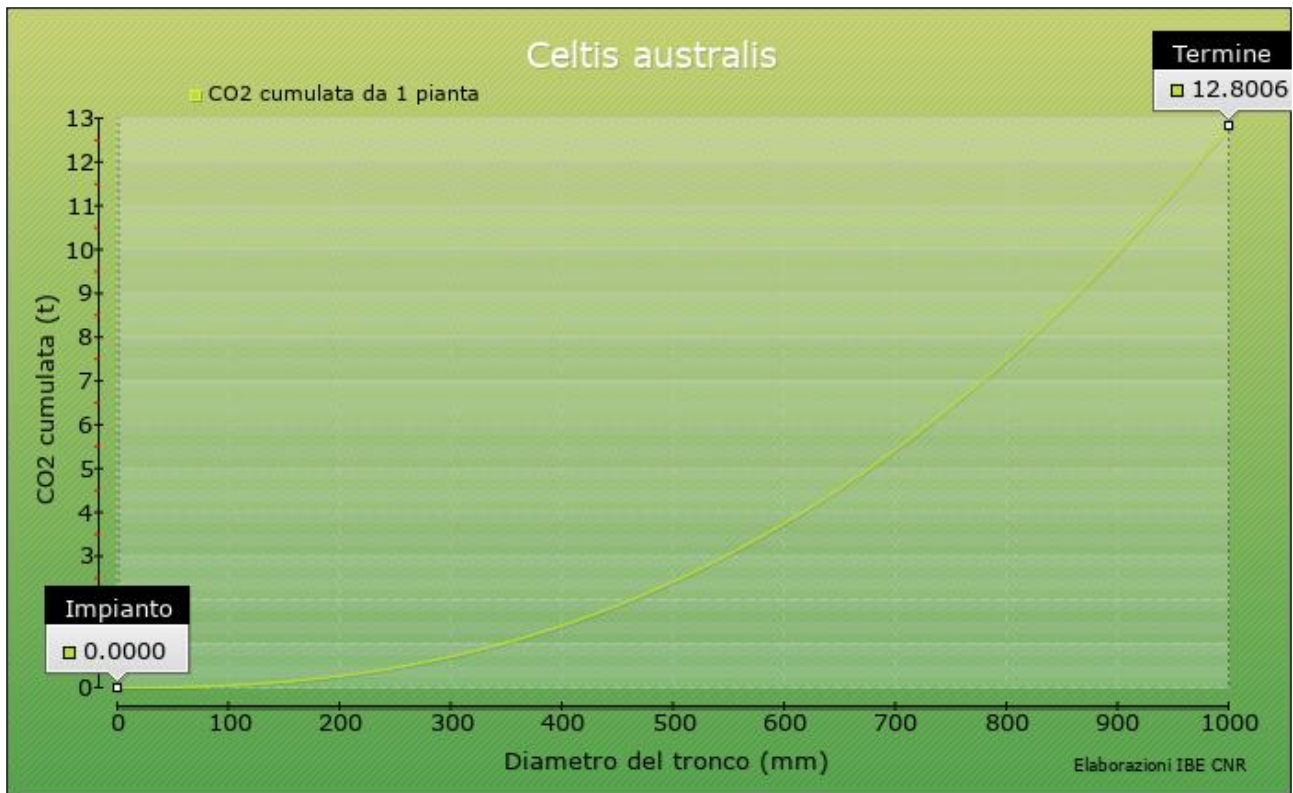
Modello calcolato per la specie **Acer campestre** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **107** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

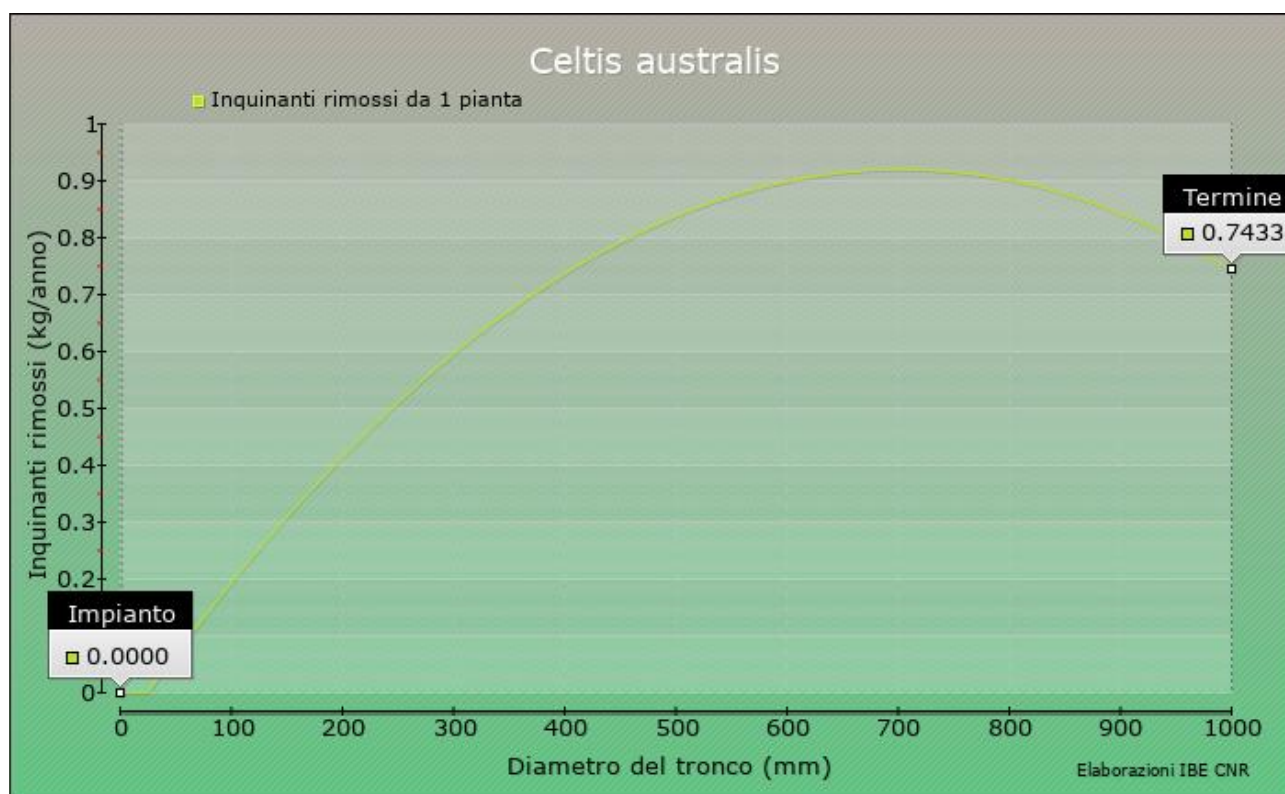




7.2 Celtis australis

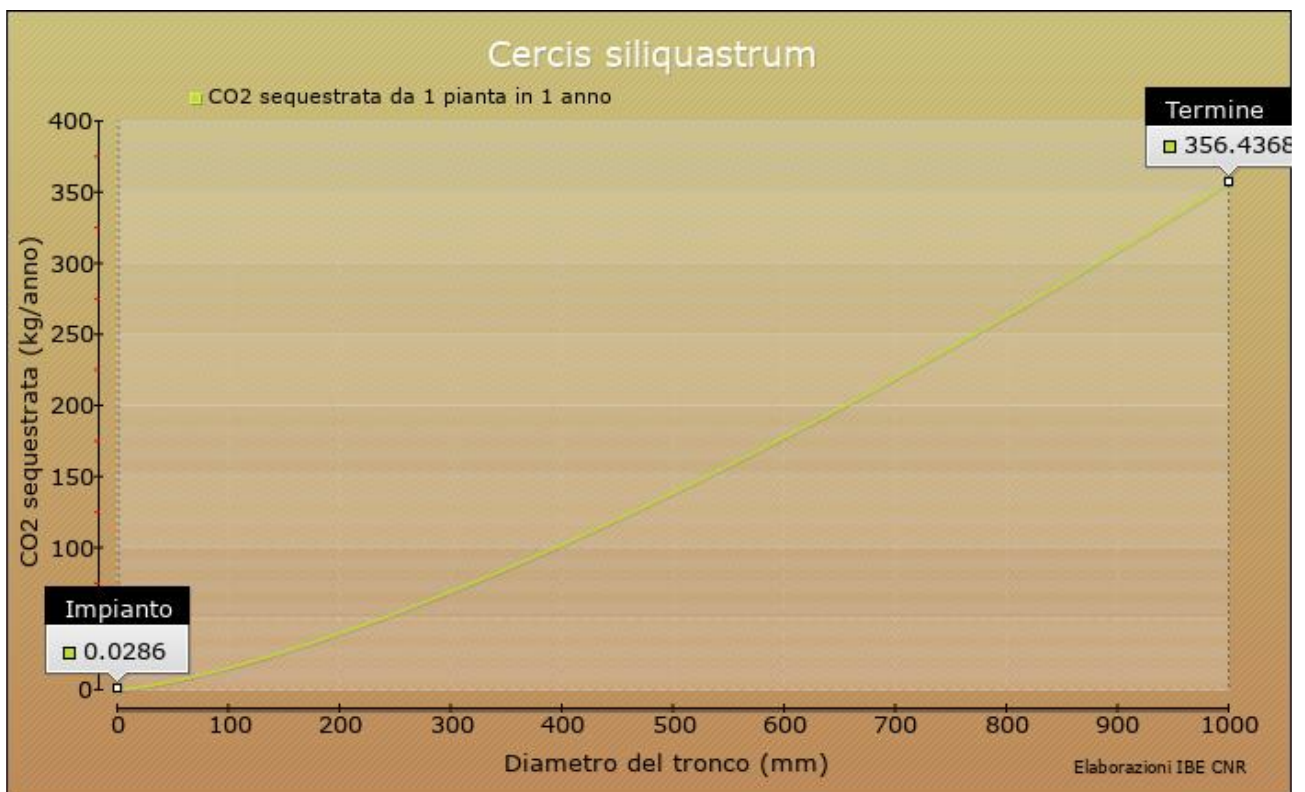
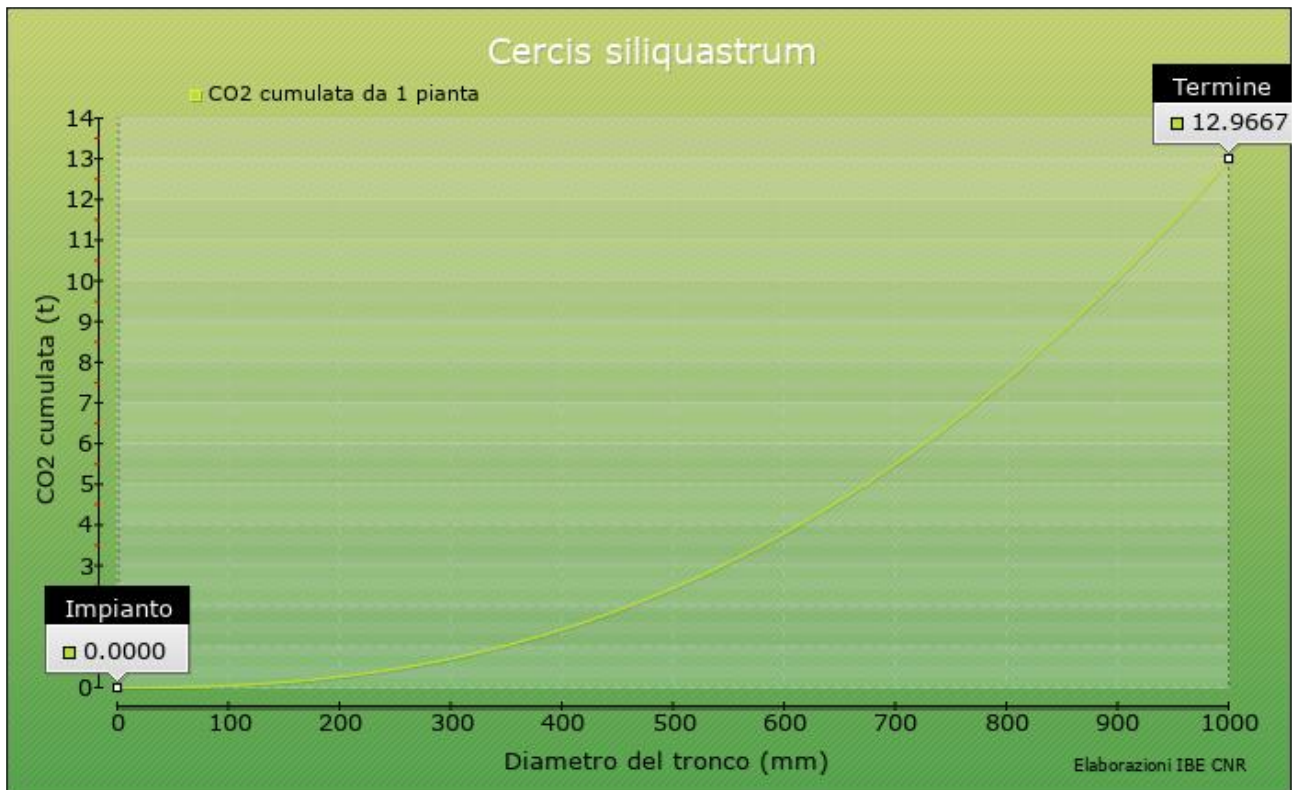
Modello calcolato per la specie **Celtis australis** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **54** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

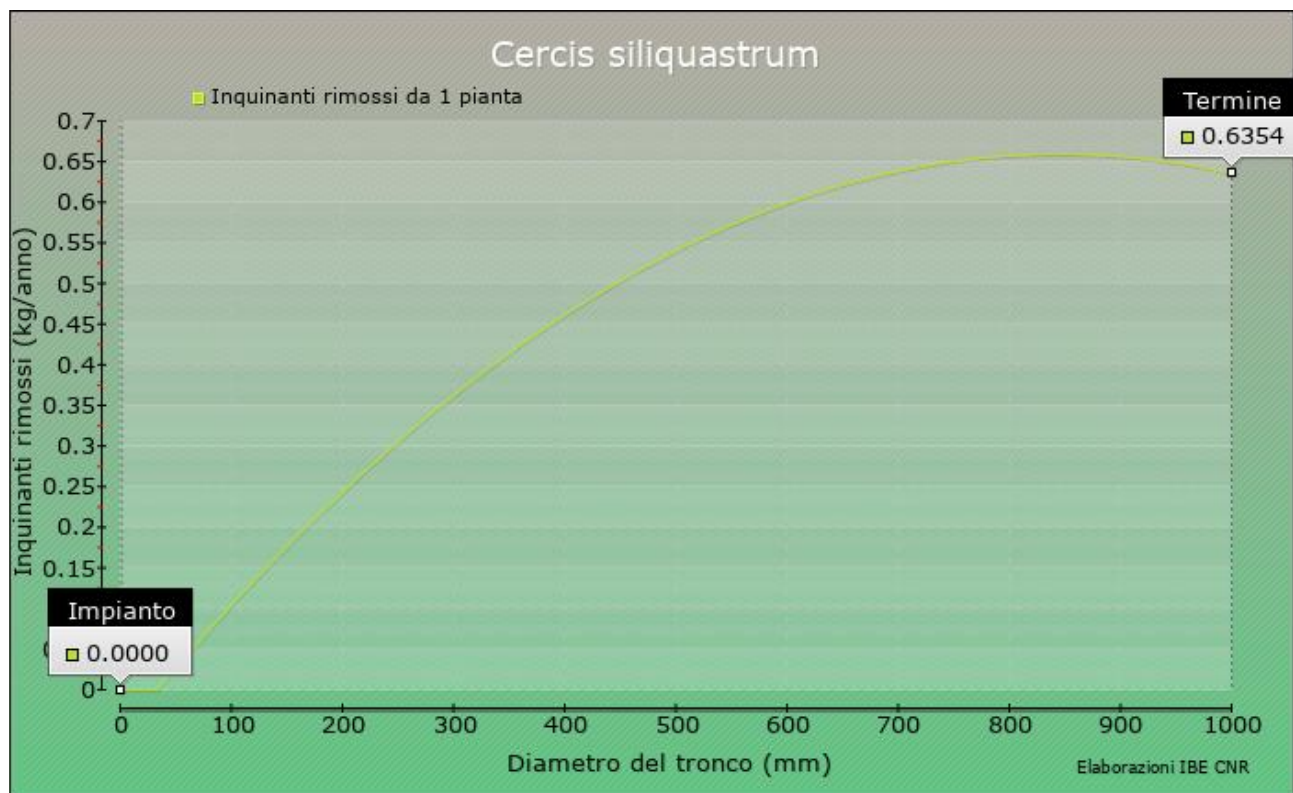




7.3 *Cercis siliquastrum*

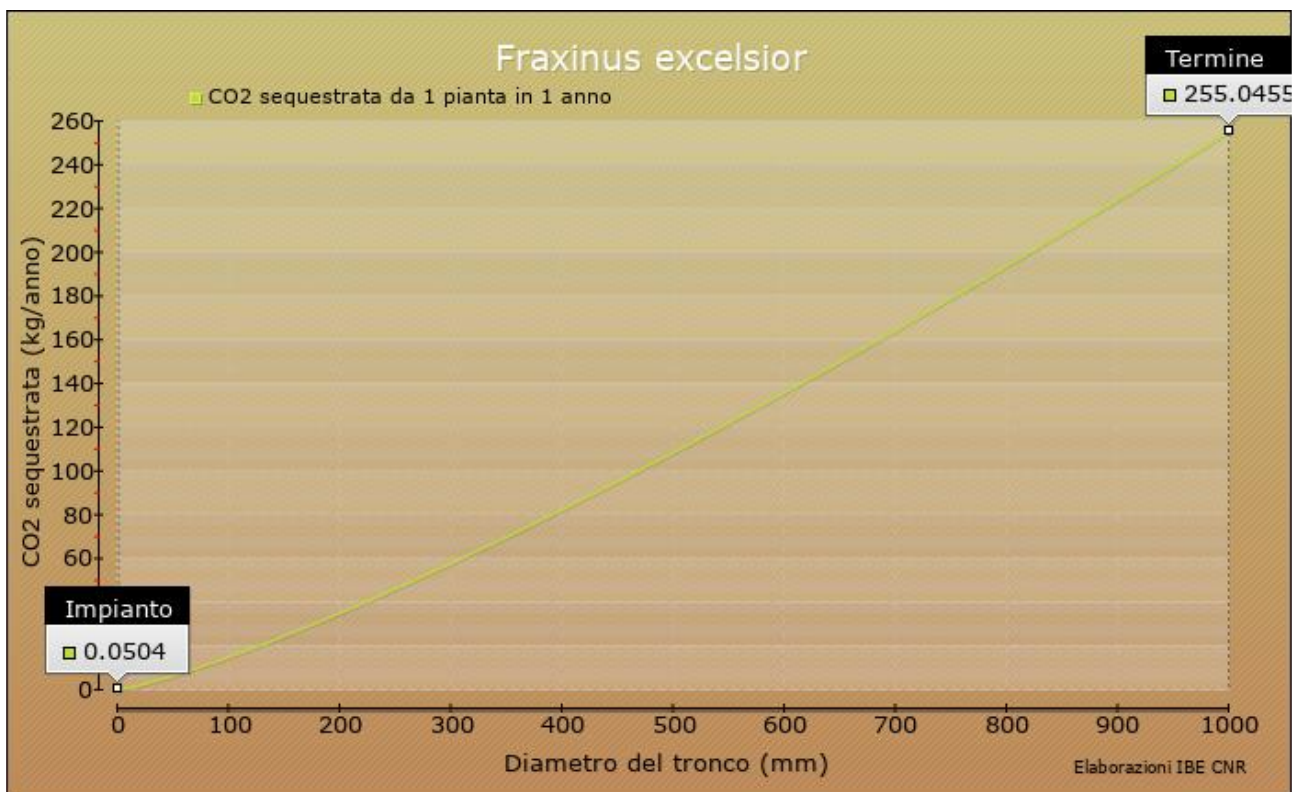
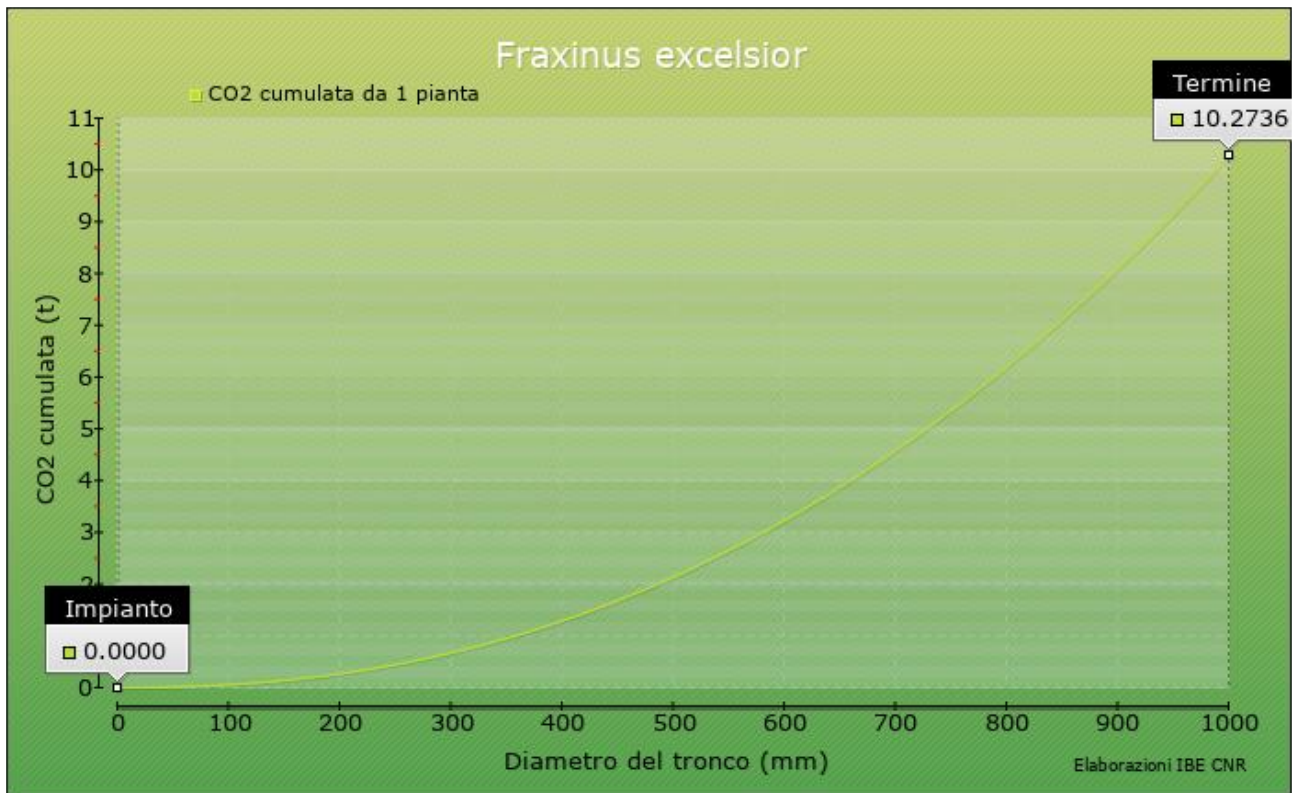
Modello calcolato per la specie ***Cercis siliquastrum*** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **130** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

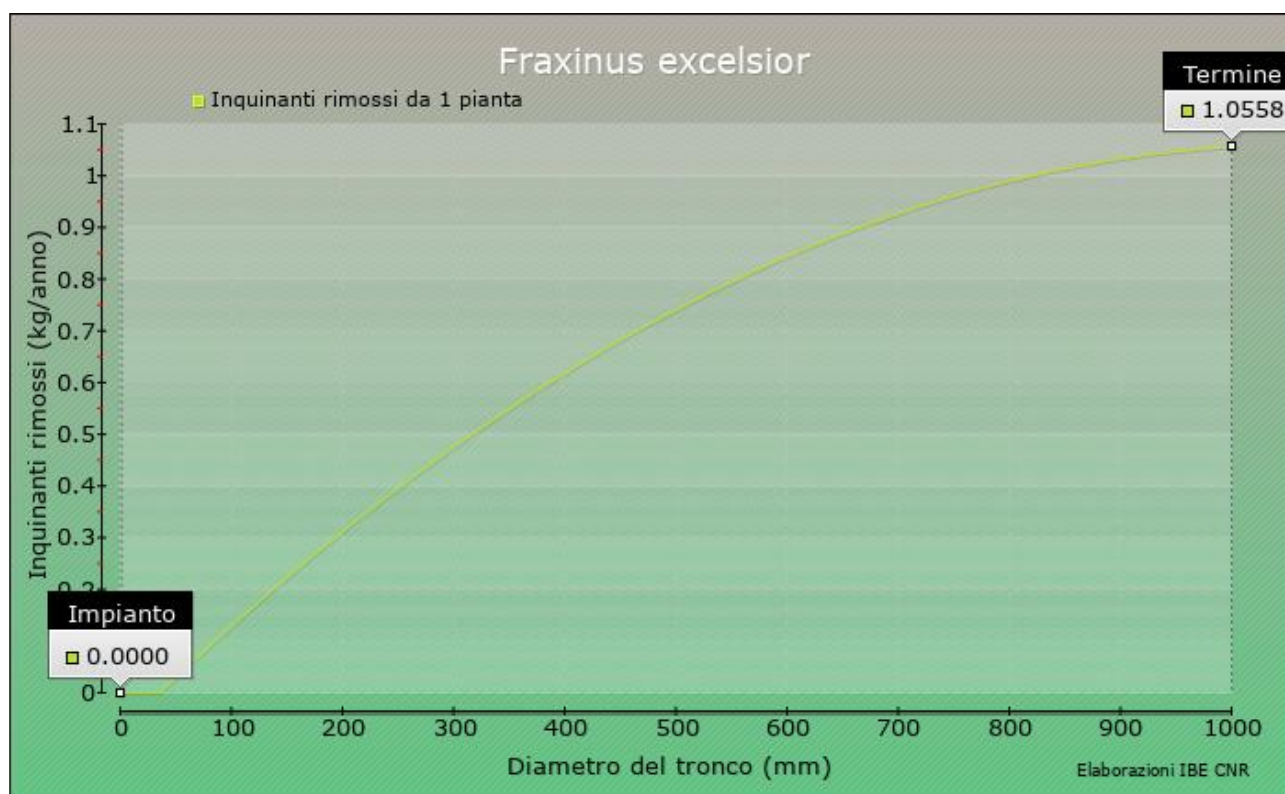




7.4 Fraxinus excelsior

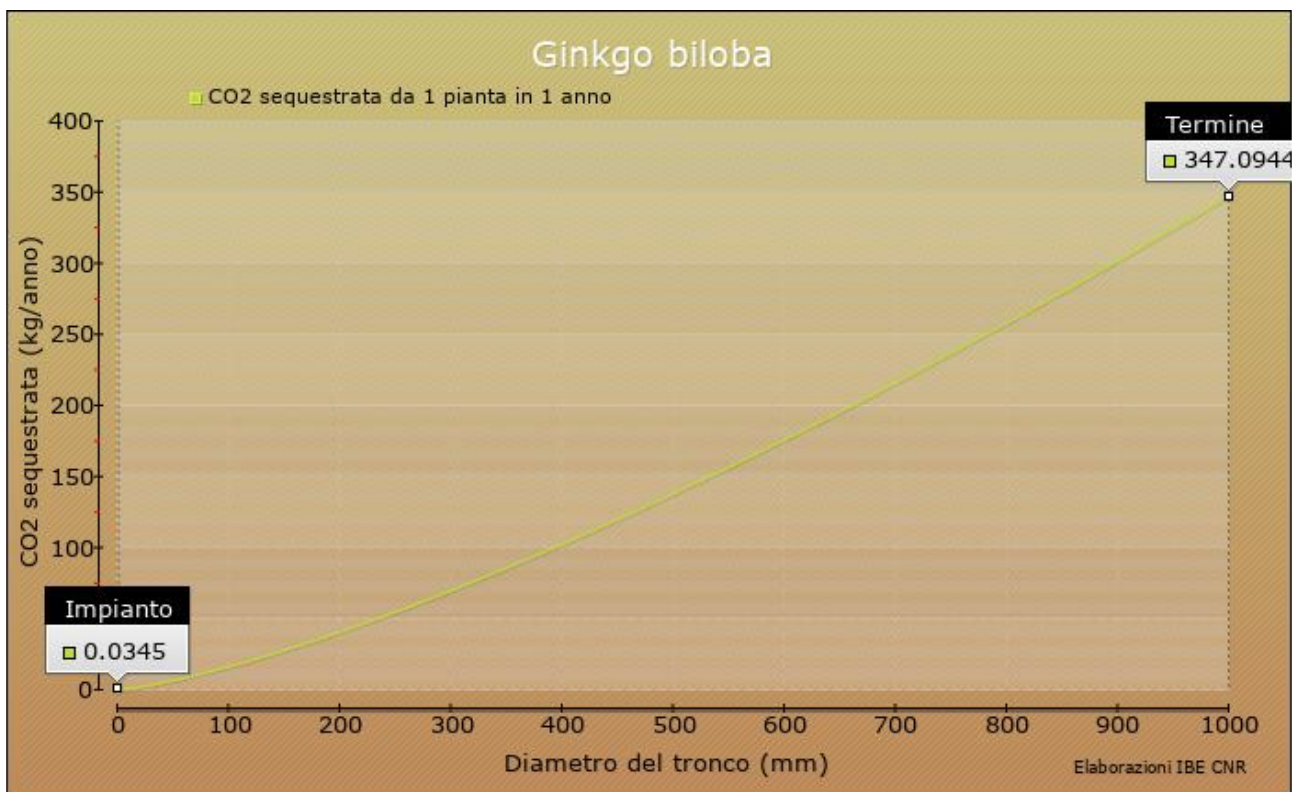
Modello calcolato per la specie **Fraxinus excelsior** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **33** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.





7.5 Ginkgo biloba

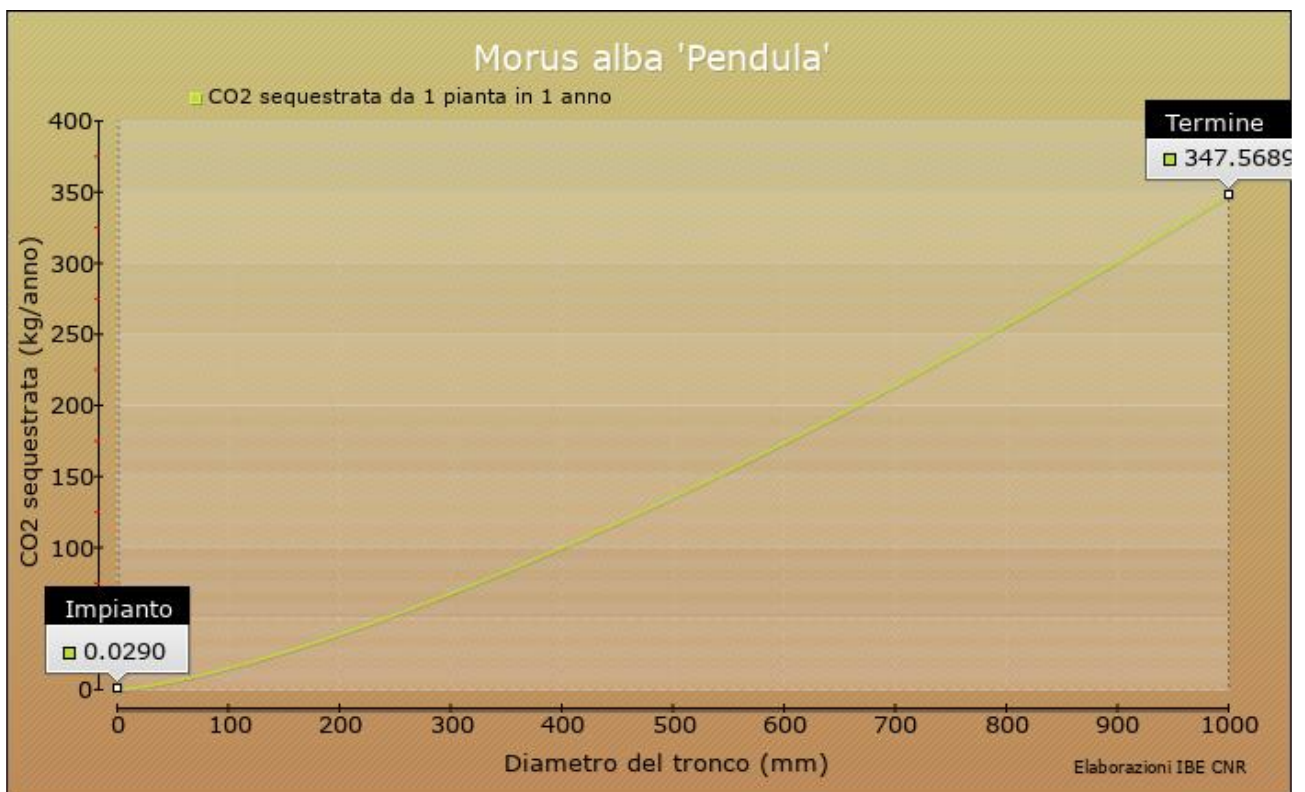
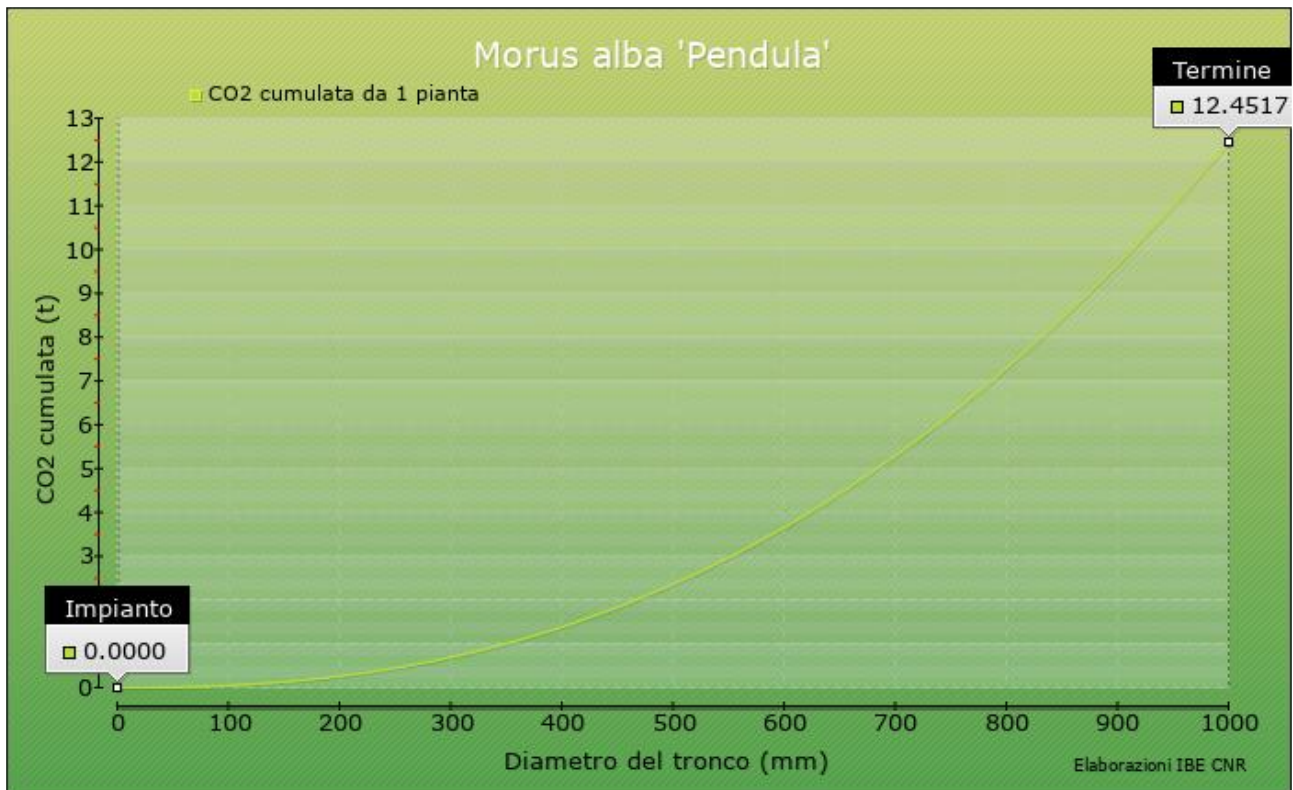
Modello calcolato per la specie **Ginkgo biloba** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **16** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

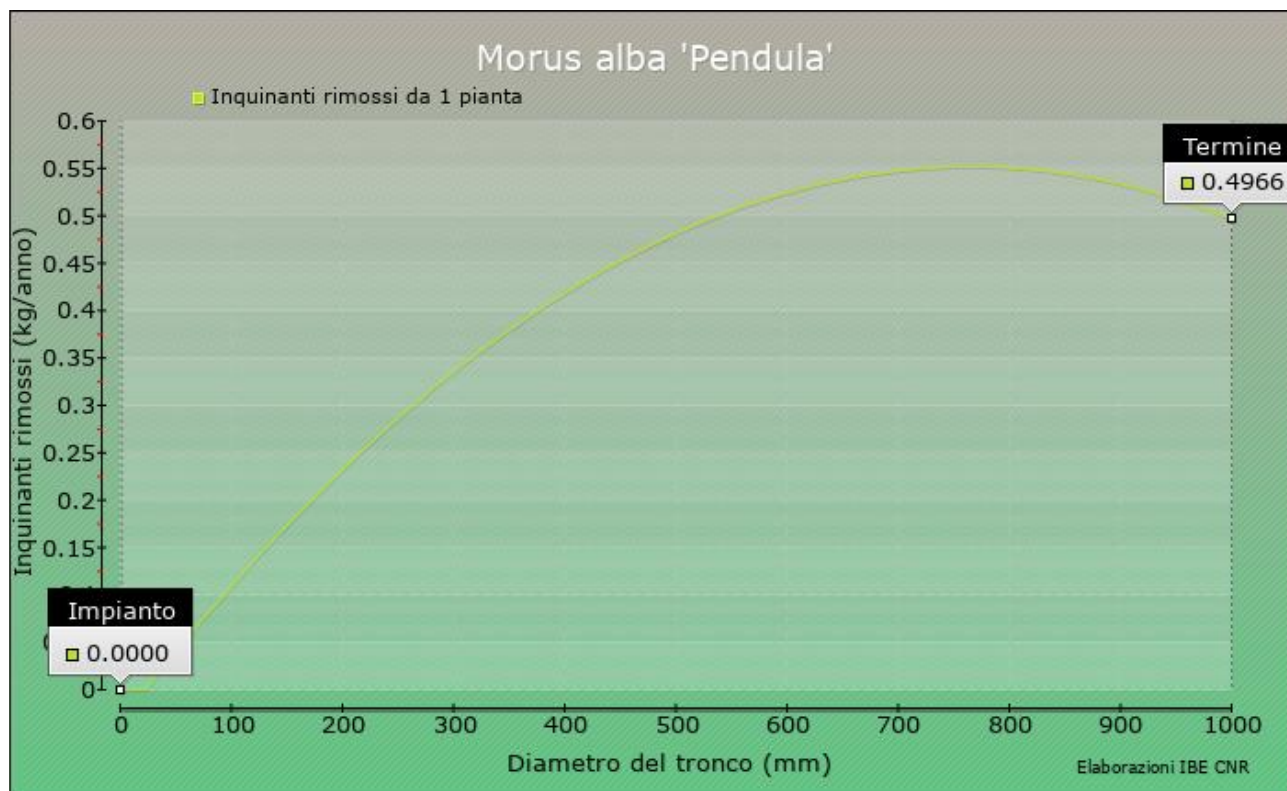




7.6 Morus alba 'Pendula'

Modello calcolato per la specie **Morus alba 'Pendula'** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **94** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

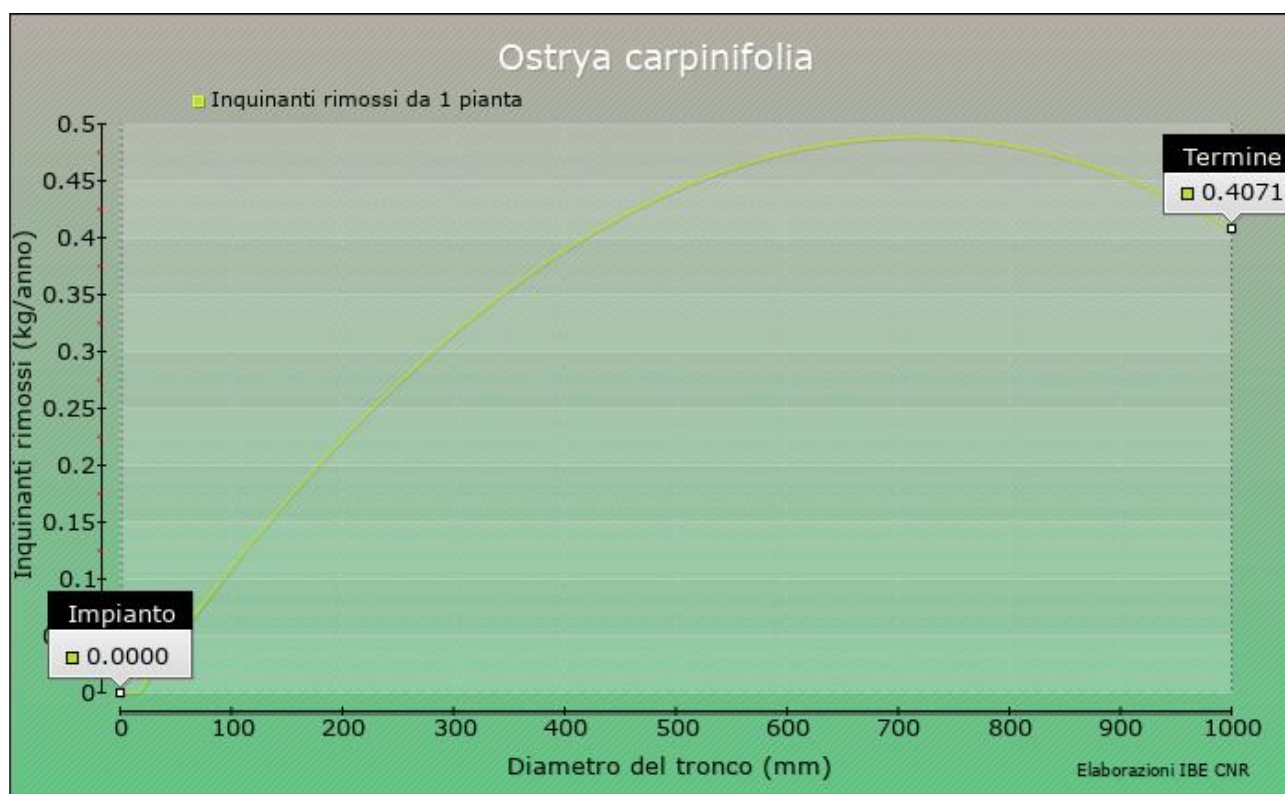




7.7 *Ostrya carpinifolia*

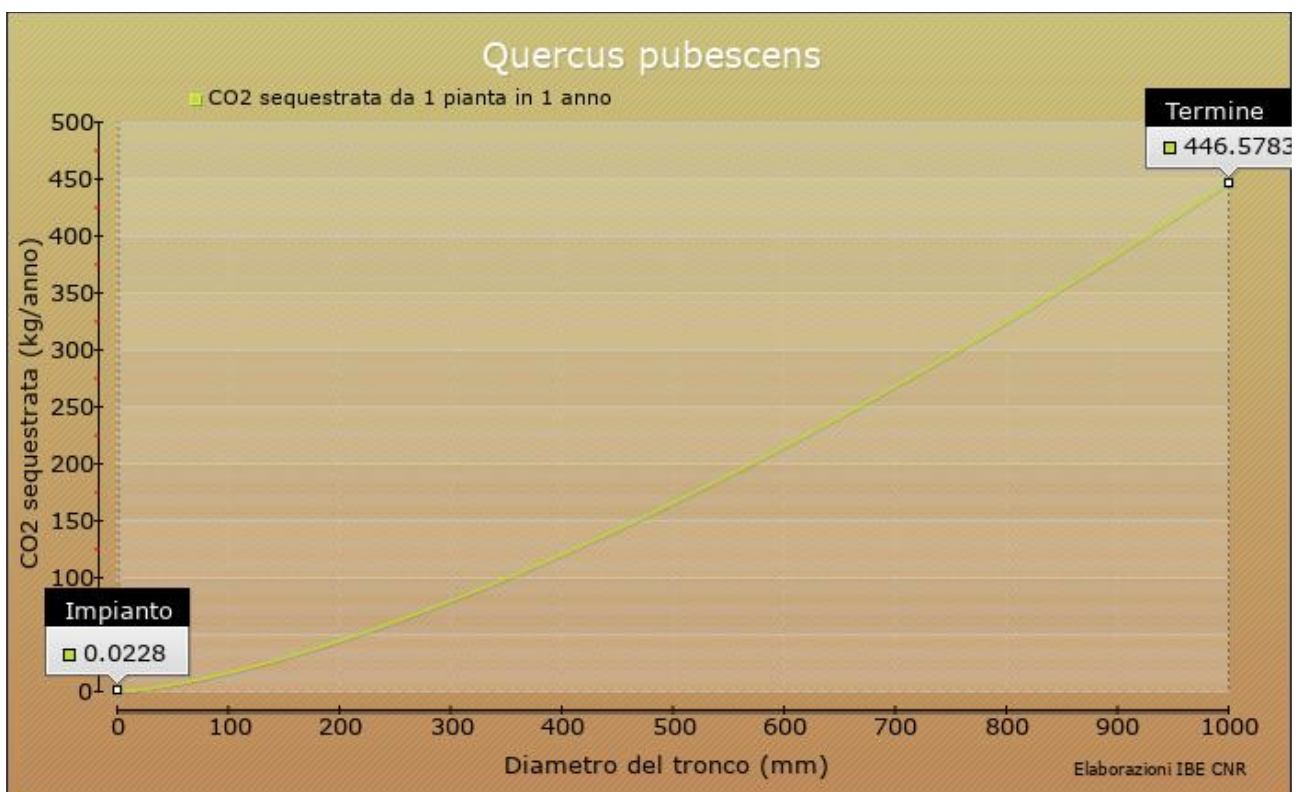
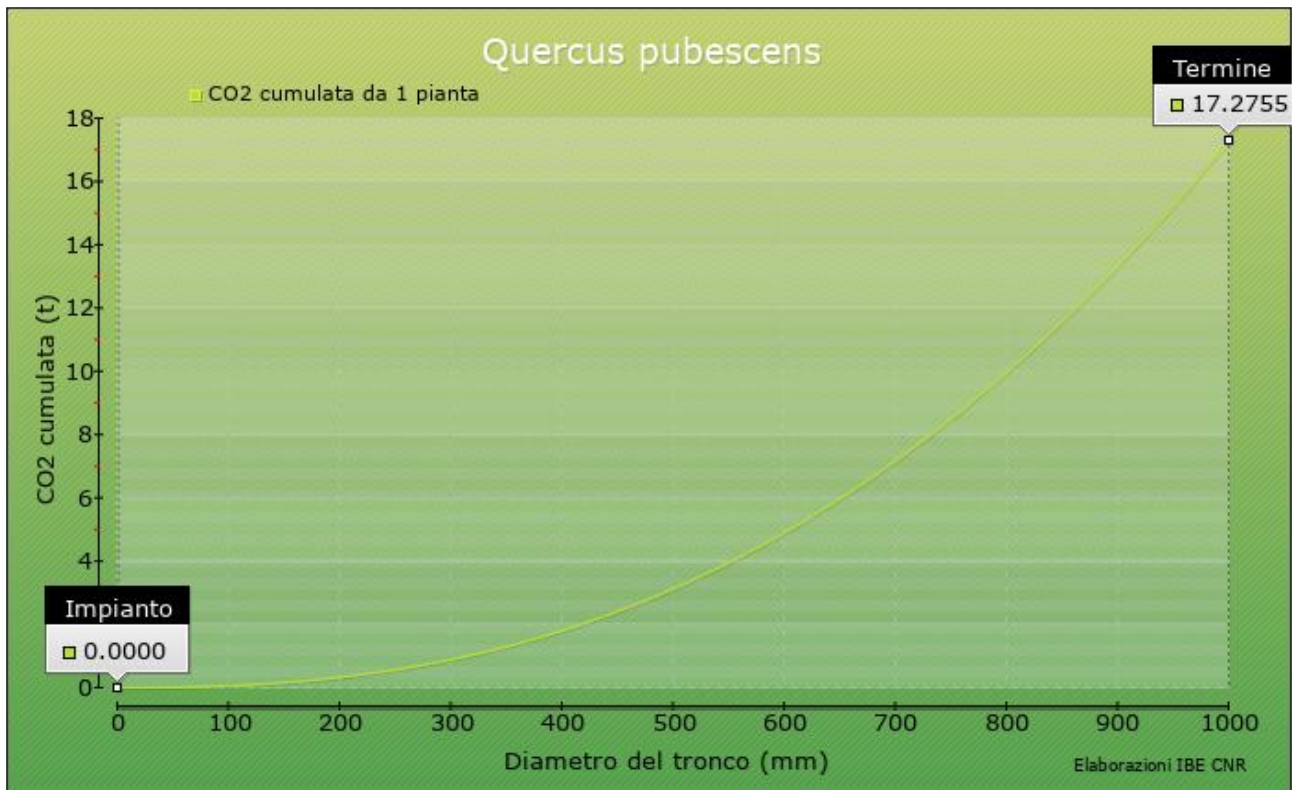
Modello calcolato per la specie ***Ostrya carpinifolia*** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **116** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

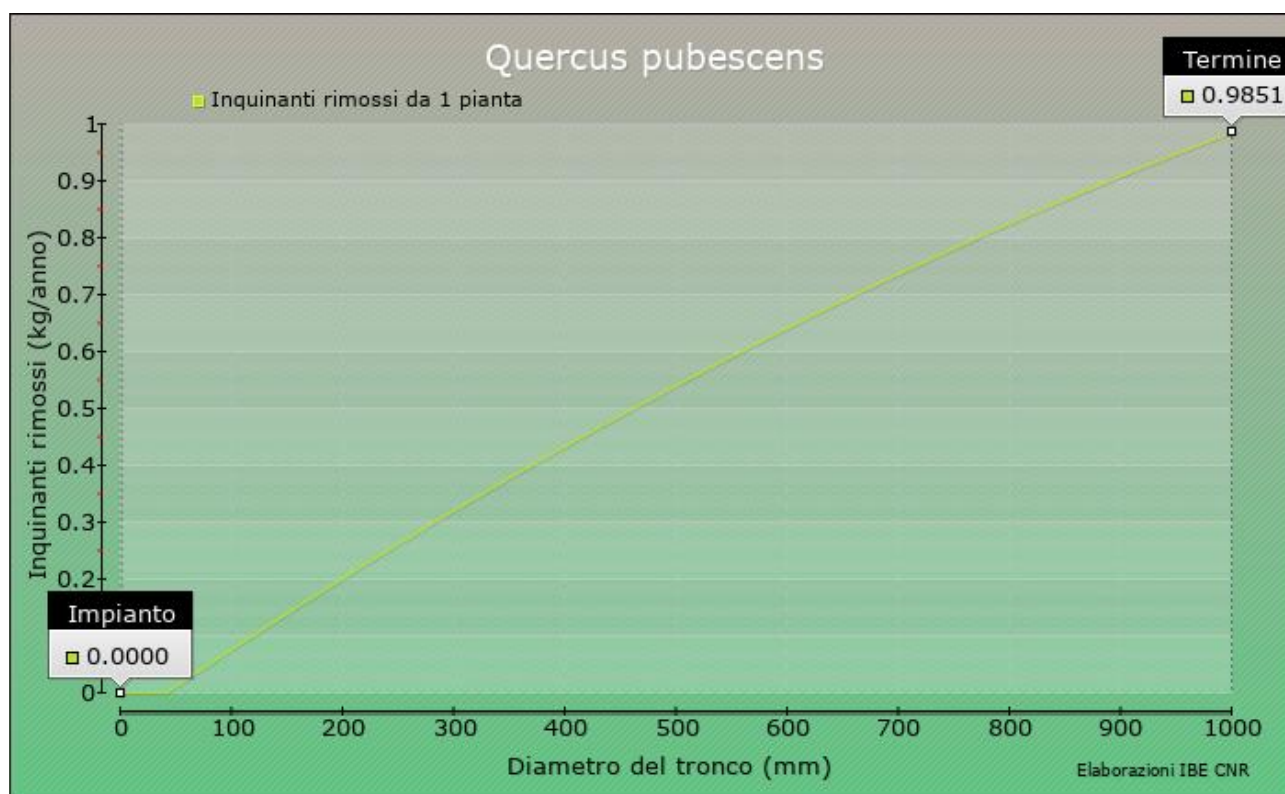




7.8 Quercus pubescens

Modello calcolato per la specie **Quercus pubescens** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **41** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.





7.9 Tilia cordata

Modello calcolato per la specie **Tilia cordata** con parametrizzazione basata su dati ambientali ricavati sul territorio di Bologna. Il modello si riferisce a **95** piante, incentrato sul raggiungimento di un diametro di 1000mm.

