

Un numero inaspettatamente grande di alberi nel Sahara e nel Sahel dell'Africa occidentale

[Martin Brandt](#) , [Compton J. Tucker](#) , [Ankit Kariryaa](#), [Kjeld Rasmussen](#), [Christin Abel](#), [Jennifer Small](#), [Jerome Chave](#), [Laura Vang Rasmussen](#), [Pierre Hiernaux](#), [Abdoul Aziz Diouf](#), [Laurent Kergoat](#), [Ole Mertz](#), [Christian Igel](#), [Fabian Gieseke](#), [Johannes Schöning](#), [Sizhuo Li](#), [Katherine Melocik](#), [Jesse Meyer](#), [Scott Sinno](#), [Eric Romero](#), [Erin Glennie](#), [Amandine Montagu](#), [Morgane Dendoncker](#) & [Rasmus Fensholt](#)

[Nature](#) **587**, –82 (2020)

29k accessi | 205 Citazioni | 913 Altmetric | [delle metriche](#)

Astratto

Pdf by:
<https://www.pro-memoria.info>

Una grande percentuale di alberi e arbusti di terre aride (di seguito denominati collettivamente alberi) crescono in isolamento, senza chiusura della chioma. Questi alberi non forestali hanno un ruolo cruciale nella biodiversità e forniscono servizi ecosistemici come lo stoccaggio del carbonio, le risorse alimentari e il riparo per gli esseri umani e gli animali^{1,2}. Tuttavia, la maggior parte dell'interesse pubblico relativo agli alberi è dedicato alle foreste e gli alberi al di fuori delle foreste non sono ben documentati³. Qui mappiamo la dimensione della corona di ogni albero di oltre 3 m² su un'area terrestre che si estende su 1,3 milioni di km² nel Sahara dell'Africa occidentale, nel Sahel e nella zona sub-umida, utilizzando immagini satellitari a risoluzione submetrica e deep learning⁴. Abbiamo rilevato oltre 1,8 miliardi di singoli alberi (13,4 alberi per ettaro), con una dimensione

mediana della corona di 12 m², lungo un gradiente di precipitazioni da 0 a 1.000 mm all'anno. La copertura della chioma aumenta dallo 0,1% (0,7 alberi per ettaro) nelle aree iper-aride, fino all'1,6% (9,9 alberi per ettaro) nelle zone aride e al 5,6% (30,1 alberi per ettaro) nelle zone semi-aride, al 13,3% (47 alberi per ettaro) nelle zone sub-umide. Anche se la copertura complessiva della chioma è bassa, la densità relativamente alta di alberi isolati sfida le narrazioni prevalenti sulla desertificazione delle zone aride^{5,6,7}, e anche il deserto mostra una densità di alberi sorprendentemente alta. La nostra valutazione suggerisce un modo per monitorare gli alberi al di fuori delle foreste a livello globale e per esplorare il loro ruolo nella mitigazione del degrado, del cambiamento climatico e della povertà.

Pdf by:
<https://www.pro-memoria.info>

Questa è un'anteprima del contenuto dell'abbonamento, [accesso tramite il tuo istituto](#)

Opzioni di accesso

Accedi a Nature e a 54 altre riviste Nature Portfolio

Ottieni Nature+, il nostro abbonamento di accesso online con il miglior valore

24,99 € / 30 giorni
annullare in qualsiasi momento

Per saperne di più

Acquista questo articolo

- Acquista su Springer Link
- Accesso immediato all'articolo completo PDF

Acquista ora

Iscriviti a questa rivista

Ricevi 51 numeri di stampa e accesso online

193,42 € all'anno
solo 3,79 € per numero

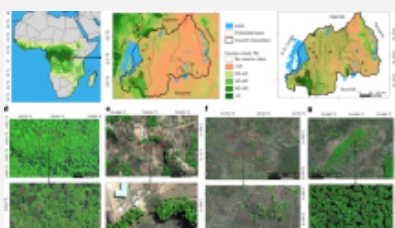
Per saperne di più

I prezzi possono essere soggetti a tasse locali che vengono calcolate durante il checkout

Opzioni di accesso aggiuntive:

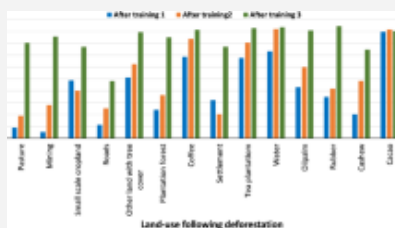
- [Accedi](#)
- [Scopri gli abbonamenti istituzionali](#)
- [Leggi le nostre FAQ](#)
- [Contattare l'assistenza clienti](#)

Contenuti simili visualizzati da altri



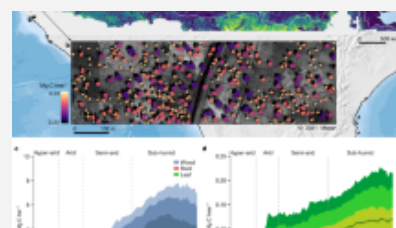
Mappatura a livello nazionale delle scorte di carbonio fuori terra a livello di albero in...

Articolo | Accesso aperto
22 dicembre 2022



Mappatura della diversità degli usi del suolo a seguito della deforestazione in tutt...

Articolo | Accesso aperto
19 gennaio 2024



Scorte di carbonio su scala subcontinentale di singoli alberi nelle zone aride africane

Articolo | Accesso aperto
01 marzo 2023

Disponibilità dei dati

Le mappe globali della copertura degli alberi sono disponibili all'indirizzo <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>. I dati sulle precipitazioni CHIRPS sono disponibili gratuitamente presso il Climate Hazard Group (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>). La mappa di uso del suolo di Copernicus può essere scaricata su <https://land.copernicus.eu/global/>. Le immagini satellitari commerciali ad altissima risoluzione sono state acquisite dalla NASA, nell'ambito di un accordo di licenza per l'utente finale di NextView Imagery. Il copyright rimane con DigitalGlobe e la redistribuzione non è possibile. Tuttavia, i prodotti derivati prodotti in questo articolo sono resi pubblicamente disponibili presso l'Oak Ridge National Laboratory all'indirizzo <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1832>. Qualsiasi ulteriore dato pertinente è disponibile presso gli autori corrispondenti su ragionevole richiesta.

Disponibilità del codice

Il framework di rilevamento degli alberi basato su U-Net è disponibile pubblicamente all'indirizzo <https://doi.org/10.5281/zenodo.3978185>; supporto e ulteriori informazioni sono disponibili presso A.K. (kariryaa@uni-bremen.de o ankit.ky@gmail.com).

Pdf by:
<https://www.pro-memoria.info>

Riferimenti

1. Bayala, J., Sanou, J., Teklehaimanot, Z., Kalinganire, A. & Ouédraogo, S. Parchi per tamponare il rischio climatico e sostenere la produzione agricola nel Sahel dell'Africa occidentale. *Curr. Opin. Ambiente. Sostenere*. **6**, 28–34 (2014).
 2. Stringer, L. C. et al. Sfide e opportunità nel collegare il sequestro del carbonio, i mezzi di sussistenza e la fornitura di servizi ecosistemici nelle zone aride. *Ambiente. Sci. Politica* **19-20**, 121-135 (2012).
 3. Schnell, S., Kleinn, C. & Ståhl, G. Monitoraggio degli alberi al di fuori delle foreste: una revisione. *Environ. Monit. Valutare*. **187**, 600 (2015).
 4. LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. Apprendimento profondo. *Natura* **521**, 436–444 (2015).
 5. Darkoh, M. B. K. La natura, le cause e le conseguenze della desertificazione nelle terre aride dell'Africa. *Degradazione della terra. Dev.* **9**, 1–20 (1998).
-

6. Ribot, J. C. Una storia di paura: immaginare la deforestazione nelle foreste di zone aride dell'Africa occidentale. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **8**, 291–300 (1999).

7. Fairhead, J. & Leach, M. Falsa storia della foresta, analisi sociale complice: ripensare alcune narrazioni ambientali dell'Africa occidentale. *Sviluppo mondiale.* **23**, 1023–1035 (1995).

8. Hansen, M. C. et al. Mappe globali ad alta risoluzione del cambiamento della copertura forestale del XXI secolo. *Scienza* **342**, 850–853 (2013).

9. Ickowitz, A., Powell, B., Salim, M. A. & Sunderland, T. C. H. Qualità alimentare e copertura degli alberi in Africa. *Glob. Ambiente. Modifica* **24**, 287–294 (2014).

10. Baudron, F., Chavarría, J. Y. D., Remans, R., Yang, K. & Sunderland, T. Contributi indiretti delle foreste alla diversità alimentare nell'Etiopia meridionale. *Ecol. Soc.* **22**, 28 (2017).

11. Angelsen, A. et al. Reddito ambientale e mezzi di sussistenza rurali: un'analisi globale-comparativa. *Sviluppo mondiale.* **64**, S12–S28 (2014).

12. Reed, J. et al. Alberi per la vita: il contributo del servizio ecosistemico degli alberi alla produzione alimentare e ai mezzi di sussistenza ai tropici. *Per. Politica Econ.* **84**, 62–71 (2017).

13. Brito, J. C. et al. Svelare la biodiversità, l'evoluzione e le minacce alla conservazione nel Sahara-Sahel. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* **89**, 215–231 (2014).

14. Brandt, M. et al. Le microonde passive satellitari rivelano le recenti perdite di carbonio indotte dal clima nelle zone aride africane. *Nat. Ecol. Evol.* **2**, 827–835 (2018).

15. de Foresta, H. et al. *Verso la valutazione degli alberi al di fuori delle foreste (Documento di lavoro di valutazione delle risorse 183)* (FAO, 2013).

16. Crowther, T. W. et al. Mappatura della densità degli alberi su scala globale. *Natura* **525**, 201–205 (2015).

17. Axelsson, C. R. & Hanan, N. P. Modelli nella struttura della vegetazione legnosa attraverso le savane africane. *Biogeoscienze* **14**, 3239–3252 (2017).

18. Schepaschenko, D. et al. Commenta “L'estensione della foresta nei biomi delle zone aride”. *Scienza* **358**, eaao0166 (2017).

19. Bastin, J.-F. et al. L'estensione della foresta nei biomi delle zone aride. *Scienza* **356**, 635–638 (2017).

20. Song, X.-P. et al. Cambiamento globale della terra dal 1982 al 2016. *Natura* **560**, 639–643 (2018).
-
21. Brandt, M. et al. Riduzione della copertura degli alberi nei boschi dell'Africa occidentale e promozione nei terreni agricoli semi-aridi. *Nat. Geosci.* **11**, 328–333 (2018).
-
22. Brandt, M. et al. Stima della copertura delle piante legnose nelle terre aride dalle metriche stagionali basate sull'osservazione della Terra. *Sensori a distanza Ambiente*. **172**, 28–38 (2016).
-
23. Reichstein, M. et al. Apprendimento profondo e comprensione dei processi per la scienza del sistema terrestre basata sui dati. *Natura* **566**, 195–204 (2019).
-
24. Ronneberger, O., Fischer P. & Brox, T. U-net: reti convoluzionali per la segmentazione delle immagini biomediche. In *Conferenza internazionale sul calcolo delle immagini mediche e l'intervento assistito dal computer* (eds. Navab, N. et al.) 234–241, (Springer, 2015).
-
25. Muller-Landau, H. C. et al. Confrontando le distribuzioni delle dimensioni degli alberi delle foreste tropicali con le previsioni dell'ecologia metabolica e dei modelli di equilibrio. *Ecol. Lascia*. **9**, 589–602 (2006).
-

26. Buchhorn, M. et al. Copernicus global land service: land cover 100 m: epoch 2018: Africa demo. <https://land.copernicus.eu/global/products/lc> (2019).
-
27. Wood, S. A. & Baudron, F. La materia organica del suolo è alla base della qualità nutrizionale e della produttività delle colture nell'agricoltura di piccole dimensioni. *Agricolo. Ecosyst. Ambiente.* **266**, 100–108 (2018).
-
28. Sandbrook, C., Sunderland, T., & Tu, T. N. in *Forests and Food* (eds Bhaskar, V. et al.) 73–136 (Open Book, 2015).
-
29. Rasolofoson, R. A., Hanauer, M. M., Pappinen, A., Fisher, B. & Ricketts, T. H. Impatti delle foreste sulla dieta dei bambini nelle aree rurali in 27 paesi in via di sviluppo. *Sci. Adv.* **4**, eaat2853 (2018).
-
30. Griscom, B. W. et al. Soluzioni climatiche naturali. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **114**, 11645–11650 (2017).
-
31. Tucker, C. J. Combinazioni lineari a infrarossi rosse e fotografiche per il monitoraggio della vegetazione. *Sensori a distanza Ambiente.* **8**, 127-150 (1979).
-
32. LeCun, Y. et al. Riconoscimento delle cifre scritto a mano con una rete di back-propagation. In *Advances in Neural Information Processing Systems 2* (ed. Touretzky, D. S.) 396–404 (Neural Information Processing Systems Foundation, 1990).
-

33. Long, J., Shelhamer, E. & Darrell, T. Reti completamente convoluzionali per la segmentazione semantica. In *Proc. Conferenza IEEE sulla visione artificiale e il riconoscimento dei modelli (CVPR)* (eds Bischof, H. et al.) 3431–3440 (IEEE Computer Society, 2015).
-
34. Sermanet, P. et al. OverFeat: riconoscimento, localizzazione e rilevamento integrati utilizzando reti convoluzionali. Prestampo su <https://arxiv.org/abs/1312.6229> (2014).
-
35. Cordts, M. et al. Il set di dati dei paesaggi urbani per la comprensione semantica della scena urbana. In *Proc. Conferenza IEEE sulla visione artificiale e il riconoscimento dei modelli (CVPR)* (eds Bajcsy, R. et al.) 3213–3223 (IEEE Computer Society, 2016).
-
36. Simpson, A. L. et al. Un grande set di dati di immagini mediche annotate per lo sviluppo e la valutazione di algoritmi di segmentazione. Prestampo su <https://arxiv.org/abs/1902.09063> (2019).
-
37. Perslev, M., Dam, E., Pai, A. & Igel, C. Una rete per segmentarli tutti: un sistema generale e leggero per un'accurata segmentazione delle immagini mediche 3D. In *Medical Image Computing e Computer Assisted Intervention (MICCAI)* (eds Shen, D. et al.) 30–38 (Springer, 2019).
-

38. Koch, T., Perslev, M., Igel, C. & Brandt, S. Segmentazione accurata delle radiografie panoramiche dentali con U-nets. In *Proc. Simposio internazionale IEEE sull'imaging biomedico (ISBI)* (a cura di Davis, L. et al.) 15-19 (IEEE Computer Society, 2019).
-
39. Srivastava, N. et al. Dropout: un modo semplice per evitare che le reti neurali si adattino troppo. *J. Mach. Impara. Res.* **15**, 1929–1958 (2014).
-
40. Ioffe, S. & Szegedy, C. Normalizzazione dei batch: accelerare la formazione profonda della rete riducendo lo spostamento interno delle covariate. Nella *Conferenza internazionale sull'apprendimento automatico (ICML)* (eds Bach, F. & Blei, D.) 448–456 (PMLR, 2015).
-
41. Odena, A., Dumoulin, V. & Olah, C. Deconvoluzione e manufatti a scacchiera. *Distill* <https://distill.pub/2016/deconv-checkerboard/> (2016).
-
42. Sadegh, S., Salehi, M., Erdogmus, D. & Gholipour, A. Funzione di perdita di Tversky per la segmentazione delle immagini utilizzando reti profonde 3D completamente convoluzionali. Nel *workshop internazionale sull'apprendimento automatico nell'imaging medico* (eds Wang, Q. et al.) 379–387 (Springer, 2017).
-
43. Funk, C. et al. Il clima metta in pericolo le precipitazioni infrarosse con le stazioni, un nuovo record ambientale per il monitoraggio degli estremi. *Sci. Dati* **2**, 150066 (2015).
-

44. Hengl, T. et al. Mappatura delle proprietà del suolo dell'Africa a una risoluzione di 250 m: le foreste casuali migliorano significativamente le previsioni attuali. *PLoS ONE* **10**, e0125814 (2015).
-

Ringraziamenti

Ringraziamo Maxar per aver fornito dati satellitari commerciali attraverso il contratto di licenza per l'utente finale di immagini NextView della National Geospatial Intelligence Agency. Questa ricerca fa parte del progetto di calcolo su scala peta sostenuta Blue Waters, che è sostenuto dalla National Science Foundation (premi OCI-0725070 e ACI-1238993), dallo Stato dell'Illinois e, a partire da dicembre 2019, dalla National Geospatial-Intelligence Agency. Blue Waters è uno sforzo congiunto dell'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign e del suo National Center for Supercomputing Applications. M.B. è stato finanziato da una borsa di ricerca post-dottorato AXA e da una sovvenzione DFF Sapere Aude (9064-00049B). A.K. e J. Schöning è stato finanziato da una cattedra Lichtenberg della Fondazione Volkswagen. J.C. riconosce le sovvenzioni ANR (CEBA, rif. ANR-10-LABX-25-01 e TULIP: ANR-10-LABX-0041). Riconosciamo il sostegno della Villum Foundation attraverso il progetto "Deep Learning and Remote Sensing for Unlocking Global Ecosystem Resource Dynamics" (DeReEco). L.V.R. è stato finanziato dal Consiglio europeo della ricerca (ERC) nell'ambito del programma di ricerca e innovazione Orizzonte 2020 dell'Unione europea (accordo di sovvenzione n. 853222 FORESTDIET). Questo articolo contribuisce al Global Land Programme, glp.earth. Ringraziamo il gruppo intorno a M. Hansen per aver reso il loro prodotto sulla copertura dell'albero globale liberamente disponibile; T. Lee per aver suggerito questo progetto; K. Murphy per il suo sostegno; D. Duffy per il suo supporto informatico ad alte prestazioni; S. Keese, C. Williamson, C. Crittenden, K. Allen, M. Schlenk, B. Bates e K. Peterman per i loro contributi di dati

satellitari; e W. Kramer e B. Bode per il loro supporto informatico ad alte prestazioni. Approvato per il rilascio pubblico, n. 20-732.

Informazioni sull'autore

Autori e affiliazioni

Dipartimento di Geoscienze e Gestione delle Risorse Naturali, Università di Copenaghen, Copenaghen, Danimarca

Martin Brandt, Kjeld Rasmussen, Christin Abel, Laura Vang Rasmussen, Ole Mertz, Sizhuo Li & Rasmus Fensholt

Science Systems and Applications Inc., NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA

Martin Brandt, Ankit Kariryaa, Jennifer Small, Pierre Hiernaux, Katherine Melocik, Jesse Meyer, Scott Sinno, Eric Romero & Erin Glennie

NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA

Compton J. Tucker, Jennifer Small, Katherine Melocik, Jesse Meyer, Scott Sinno, Eric Romero ed Erin Glennie

Gruppo HCI, Università di Brema, Brema, Germania

Ankit Karryaa & Johannes Schöning

Laboratoire Evolution and Diversité Biologique, CNRS, UPS, IRD, Université Paul Sabatier, Tolosa, Francia

Jerome Chave

Pastoralisme Conseil, Caylus, Francia

Pierre Hiernaux

Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Senegal

Abdoul Aziz Diouf

Geosciences Environnement Toulouse (GET), Observatoire Midi-Pyrénées, UMR 5563 (CNRS/UPS/IRD/CNES), Tolosa, Francia

Laurent Kergoat

Dipartimento di Informatica (DIKU), Università di Copenaghen, Copenaghen, Danimarca

Christian Igel e Fabian Gieseke

Dipartimento di Sistemi Informativi, Università di Múnster, Múnster, Germania

Fabian Gieseke

Département de Géosciences, Ecole Normale Supérieure, Paris, France

Amandine Montagu

Earth and Life Institute, Scienze Ambientali, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgio

Morgane Dendoncker

Contributi

M.B., C.J.T., R.F. e K.R. hanno progettato lo studio. C.J.T., J. Small, S.S., J.M., E.R., E.G.

e K.M. hanno preparato ed elaborato i dati satellitari. M.B. ha selezionato i dati di formazione. A.K. ha scritto il codice per il framework di deep-learning, supportato da S.L., J. Schöning, F.G., J.M. e C.I. M.B., C.A., A.K. e J.C. hanno condotto le analisi. Le interpretazioni sono state fatte da P.H., J.C., R.F., K.R., L.K., O.M., A.M. e A.A.D. M.D, C.A. e R.F. hanno raccolto i dati sul campo. K.R., M.B. e L.V.R. hanno scritto la prima bozza del manoscritto con i contributi di tutti gli autori. M.B. ha progettato le figure.

Autori corrispondenti

Corrispondenza con [Martin Brandt](#) o [Compton J. Tucker](#).

Dichiarazioni etiche

Interessi in competizione

Gli autori non dichiarano interessi concorrenti.

Informazioni aggiuntive

Informazioni sulla revisione tra pari *Nature* ringrazia Niall Hanan, Liming Zhou e gli altri, anonimi, revisori per il loro contributo alla revisione tra pari di questo lavoro.

Nota dell'editore Springer Nature rimane neutrale per quanto riguarda le rivendicazioni giurisdizionali nelle mappe pubblicate e nelle affiliazioni istituzionali.

Figure e tabelle di dati estese

Dati estesi Fig. 1 Prevedere le corone degli alberi.

Questo set di grafici da 256×256 pixel dal set di dati di test indipendente mostra le capacità del modello di rete neurale convoluzionale di prevedere gli alberi (colonna di destra) da immagini pancromatiche (colonna di sinistra) e NDVI (colonna centrale) a risoluzione di 0,5 m.

Dati estesi Fig. 2 Valutazione.

a, Le corone degli alberi etichettate manualmente dal set di dati di prova indipendente vengono confrontate con le previsioni. Il confronto è fatto per 100 grafici casuali ciascuno con 256×256 pixel. Qui, viene confrontata l'area della chioma (in m²) degli alberi nelle trame. **b**, Come in **a**, ma per la densità (il numero di alberi etichettati o previsti per trama). **c**, Come in **a**, ma per la dimensione media della corona per trama. **d**, Le dimensioni della corona di 102 alberi misurati in situ da 2 campagne sul campo in Senegal (Dati estesi Fig. 4) sono confrontate con quelli previsti. La tabella dei dati estesi [2](#) fornisce ulteriori dettagli. $n = 100$ grafici con dimensioni di 256×256 pixel.

Dati estesi Fig. 3 Mappatura delle singole corone degli alberi.

a, Prima di addestrare il modello, gli spazi tra le corone degli alberi etichettati (azzurro) sono stati riempiti (rosso) e hanno dato un peso maggiore. Durante l'allenamento, il modello è stato penalizzato più fortemente per aver classificato erroneamente i pixel gap rispetto ad altre classificazioni errate. Di conseguenza, le corone degli alberi che si toccano o sono vicine l'una all'altra potrebbero essere separate in modo affidabile. **b**, Esempi di alberi previsti (verdi), mostrando che la maggior parte degli alberi in piedi vicini l'uno all'altro sono stati mappati come alberi individuali.

Dati estesi Fig. 4 Panoramica dei siti di formazione e dell'area di studio.

L'area di studio per la mappatura wall-to-wall è la parte più occidentale del Sahara e del Sahel. Rappresenta un tipico gradiente ecologico e climatico nord-sud, a

partire dal deserto del Sahara in aree iper-aride (piogge di 0-150 mm anni⁻¹) con una scarsa copertura vegetale, sopra arida (pioggia di 150-300 mm anni⁻¹) e semi-arida (pioggia di 300-600 mm anni⁻¹) e terre coltivate del Sahel, fino a sub-umide (pioggia di 600-1.000 mm anni⁻¹) terre sudanese, dove gli arbusti si trasformano in foreste. **a**, Le posizioni delle 89.899 corone di alberi disegnate manualmente utilizzate per l'addestramento del modello sono mostrate in rosso. La pioggia CHIRPS43 è stata utilizzata per delineare le zone di pioggia. L'uso del suolo per terreni agricoli e urbani proviene da Copernicus Global Land26. I dati in situ sono stati raccolti nei siti sul campo intorno a Widou e Dahra in Senegal. Sono state mascherate aree di insufficiente qualità dei dati e oltre le precipitazioni di 1.000 mm yr⁻¹. **b**, La regione è stata analizzata per aree sabbiose (>70% di contenuto di sabbia) e non sabbiose⁴⁴.

Dati estesi Fig. 5 variabili mappate in questo studio.

a, La densità degli alberi con una dimensione della corona più grande di 3 m² per ettaro. **b**, La copertura della chioma. **c**, Dimensione media della corona. Tutte le variabili sono state mappate da griglie 100 × 100-m (1-ha). Sono mostrati anche isoiti di pioggia di 150, 300, 600 e 1.000 mm yr⁻¹.

Dati estesi Fig. 6 classi di densità degli alberi.

a-d, La densità degli alberi per ettaro è mostrata per diverse classi di dimensioni della corona: 3–15 m² (**a**), 15–50 m² (**b**), 50–200 m² (**c**) e >200 m² (**d**). Gli alberi della classe >200 m² in genere non rappresentano le singole corone degli alberi, ma riflettono invece le aree a baldacchino chiuso. Gli alberi <3 m² non sono mostrati, a causa dell'elevata incertezza in questa classe.

Dati estesi Fig. 7 Confronti con altri set di dati.

a, copertura del baldacchino dell'area di studio dal rif. **8**. **b**, Diametro della corona misurato sul campo (derivato dalla dimensione della corona 3-200 m²) di 811 singoli alberi misurati in situ nel Ferlo del Senegal²¹. L'asse y è stato trasformato in

log. **c**, come in **b**, ma per la dimensione della corona e senza trasformazione del registro. **d**, la copertura legnosa derivata da singoli alberi differisce dall'attuale mappa di copertura dell'albero all'avanguardia dal rif. 19. $n = 4.017$ griglie; $r^2 = 0,28$.

Dati estesi Fig. 8 Panoramica delle immagini satellitari.

Abbiamo utilizzato 11.128 immagini multispettrali dai satelliti QuickBird-2, GeoEye-1, WorldView-2 e WorldView-3, acquisiti da novembre a marzo del 2005-2018. La priorità è stata impostata sulle immagini dell'inizio della stagione secca (a partire da novembre) e un angolo off-nadir di $<25^\circ$. Sebbene il modello sia stato addestrato e convalidato per funzionare per le immagini della tarda stagione secca, l'incertezza è più alta a febbraio e marzo. **a**, Mesi di acquisizione delle immagini. **b**, azimutho solare al momento dell'acquisizione delle immagini. **c**, angolo Off-nadir mostrato per ogni immagine.

Dati estesi Tabella 1 Prestazioni in relazione alla qualità dell'immagine

Valutazione estesa dei dati della tabella 2

Informazioni supplementari

Informazioni supplementari

Questo file contiene le figure supplementari 1-4 e la tabella supplementare 1.

Riepilogo dei rapporti

Diritti e autorizzazioni

Informazioni su questo articolo

Cita questo articolo

Brandt, M., Tucker, C.J., Kariryaa, A. *et al.* Un numero inaspettatamente grande di alberi nel Sahara e nel Sahel dell'Africa occidentale. *Natura* **587**, 78–82 (2020).

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2824-5>

Ricevuto

26 agosto 2019

Accettato

09 settembre 2020

Pubblicato

14 ottobre 2020

Data di emissione

05 novembre 2020

DOI

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2824-5>

Soggetti

[Servizi ecosistemici](#)

• [Ecologia tropicale](#)

