



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di Laurea Triennale in Valorizzazione e tutela dell'ambiente e
del territorio montano

**MODELLIZZAZIONE DELLE DINAMICHE DI STOCK DI
CARBONIO IN RISPOSTA A SCENARI DI CAMBIAMENTO
D'USO DEL SUOLO NELLE FORESTE DEL BORNEO**

Relatore: Dr. Lorenzo Rossi

Autore: Mauro Bozza

Matricola: 00917A

Anno accademico 2023-2024

*A mia moglie Martina e ai miei figli Massimo e Marzio,
che sono la mia motivazione ad essere migliore.*

RIASSUNTO

Il problema che oggi tutto il mondo si trova ad affrontare è il cambiamento climatico, cioè la variazione a lungo termine delle temperature e dei modelli meteorologici. Una delle principali cause del cambiamento climatico è sicuramente la deforestazione che, oltre a rappresentare un danno per la biodiversità, contribuisce alla reimmissione in atmosfera del carbonio stoccato nella biomassa, aumenta la mineralizzazione del carbonio stoccato nel suolo e contribuisce ad alterare la naturale capacità dell'ambiente di sottrarre anidride carbonica all'atmosfera accentuando così l'effetto serra. Uno dei luoghi più colpiti dalla deforestazione nel mondo è il sud-est asiatico ed in particolare l'isola del Borneo dove agli inizi degli anni '70 circa il 75% della superficie era ancora ricoperto da foreste e dal 1973 al 2010 l'area forestale si è ridotta di circa il 30%, il che corrisponde a quasi il doppio della velocità di deforestazione osservata nelle foreste tropicali in altre aree del mondo.

Le cause di questa intensa attività di deforestazione perpetrata negli anni sono da imputare in parte all'intensificazione del commercio del legno e in parte all'espansione delle piantagioni di palma da olio e alle conseguenze sullo sviluppo urbano che queste hanno generato. Questi rapidi cambi di uso del suolo hanno contribuito a modificare gli effetti di diversi servizi ecosistemici svolti dalle foreste del Borneo, in particolare un servizio di regolazione che consiste nel sequestro dell'anidride carbonica all'interno del suolo e della biomassa sta venendo meno incrementando così le emissioni di gas effetto serra in atmosfera e di conseguenza il problema del cambiamento climatico.

Il presente studio si è posto l'obiettivo di quantificare, in primo luogo, l'entità della deforestazione e dei conseguenti cambi di uso del suolo avvenuti negli ultimi 30 anni utilizzando dati di telerilevamento dal 1992 al 2020. Come dati storici di partenza sono stati utilizzati i dati generati dal progetto CCI-LC (Climate Change Initiative – Land Cover) di ESA (European Space Agency) disponibili sul data base on-line EARTH MAP. Raggruppando categorie di uso del suolo con caratteristiche simili sono state definite le seguenti macrocategorie, "Terreni coltivati", "Aree a mosaico", "Copertura arborea", "Vegetazione rada" e "Aree urbane" e per ognuna di esse sono state calcolate le estensioni totali per ogni regione del Borneo nei vari anni. I risultati ottenuti hanno confermato la presenza di una costante attività di deforestazione nelle foreste del Borneo per lasciare spazio alla crescita di tutte le altre macrocategorie. 4,95 Mha di foreste sono stati deforestati negli ultimi 30 anni, pari al 6,69% della superficie totale del Borneo e al 9,35% della copertura

arborea totale presente nel 1992. Il tasso di deforestazione calcolato anno per anno ha riportato valori altalenanti, senza un andamento preciso di crescita o di calo, è stato quindi più utile calcolare il tasso medio di deforestazione che è risultato pari allo 0,32% annuo. Le ragioni per cui la deforestazione avanza imperterrita continuano ad essere ragioni economiche come i profitti ottenuti dalla vendita del legno e le concessioni date alle grandi società produttrici di olio di palma per creare nuove piantagioni.

Successivamente, i valori calcolati sono stati ulteriormente elaborati per trovare dei trend nei cambi di uso del suolo e prevedere dei nuovi valori di estensione delle macrocategorie dal 2020 al 2050. I nuovi valori sono stati utilizzati per modellizzare n.3 diversi scenari futuri utilizzando uno strumento di calcolo del bilancio del carbonio chiamato EX-ACT (Environmental eXternalities Accounting Tool), sviluppato dalla FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Tale strumento permette di calcolare le emissioni di gas serra, su un determinato periodo di tempo, dovute al cambio di uso del suolo. Il primo scenario ha simulato un futuro in cui i cambiamenti di uso del suolo continuassero per i prossimi 30 anni seguendo i trend calcolati per il trentennio passato. Nel secondo scenario la deforestazione è stata bloccata e i cambiamenti di uso del suolo sono andati a discapito della macrocategoria “Aree a mosaico” che nel presente studio è stata considerata interamente come piantagioni di palma da olio. Il terzo ed ultimo scenario unisce allo stop della deforestazione anche un’attività di riforestazione attiva per ritornare ai valori di copertura arborea del 1992 ma sempre a discapito delle piantagioni di palma da olio.

I risultati delle n.3 simulazioni fatte con il foglio di calcolo EX-ACT hanno mostrato come varia la quantità di emissioni di gas GHG nel periodo considerato dal 2020 al 2050 e le aree interessate da cambio di uso del suolo. Per lo scenario 1 - BAU (Business as usual) sono risultate emissioni pari a 7,89 GtCO₂-e, per lo scenario 2 – “Stop deforestazione”, 1,73 GtCO₂-e e per lo scenario 3 – “Riforestazione attiva”, 2,09 GtCO₂-e. Questi risultati hanno confermato l’elevato contributo all’aumento delle emissioni derivato dalla deforestazione, infatti, passando dallo scenario 1 allo scenario 2 il valore delle emissioni cala del 78,11%. Per meglio evidenziare il contributo alla riduzione delle emissioni dovuto alla riforestazione è stato necessario confrontare i diversi valori di emissioni rapportandoli agli ettari e agli anni del rispettivo scenario, ottenendo così 29,88 tCO₂-e/ha/yr per lo scenario 1, 11,13 tCO₂-e/ha/yr per lo scenario 2 e 6,88 tCO₂/ha/yr per lo scenario 3. Questi risultati quantificano il contributo della riforestazione in una riduzione delle emissioni pari al 38,17%, differenza tra scenario 2 e scenario 3. Tale effetto non era immediatamente visibile dai valori totali di

emissioni dei n.3 scenari perché le aree interessate dal cambio di uso del suolo sono risultate diverse, in particolare lo scenario 3 considera un'area circa doppia rispetto allo scenario 2. Stando ai risultati ottenuti, la lotta alla deforestazione nel Borneo deve prevedere l'implementazione di politiche prioritarie a livello nazionale. Tali politiche variano dalla lotta al disboscamento illegale e agli incendi boschivi alla ristrutturazione delle industrie del settore forestale, incluso il potenziamento dello sviluppo delle piantagioni forestali, riabilitazione e conservazione delle foreste, promozione di aree forestali sostenibili e rafforzamento delle economie locali. Considerando però la spinta economica che genera la deforestazione, difficilmente le nazioni coinvolte opteranno per la sua riduzione senza incentivi. Tali incentivi si potrebbero trovare nei mercati volontari dei crediti di carbonio andando a valorizzare la riduzione delle emissioni dovute alla riduzione della deforestazione e di cambio di uso del suolo evidenziata in questo studio.

Indice:

RIASSUNTO	3
PREMESSA	8
1 SITUAZIONE ATTUALE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI NELLE FORESTE DEL BORNEO	9
1.1 LE FORESTE IN BORNEO	9
1.1.1 FORESTE TROPICALI NEL BORNEO	9
1.1.2 AREE PROTETTE.....	10
1.2 SERVIZI ECOSISTEMICI FORESTALI.....	12
1.2.1 PRODUZIONE DI LEGNAME (SERVIZI DI FORNITURA)	12
1.2.2 EREDITA' CULTURALE E IDENTITA' (SERVIZI CULTURALI).....	12
1.2.3 BIODIVERSITA' (SERVIZI DI SUPPORTO).....	13
1.2.4 SINK E STOCK DI CARBONIO FORESTALE (SERVIZI DI REGOLAZIONE).....	16
1.3 I DISTURBI FORESTALI IN BORNEO	18
1.3.1 DEFORESTAZIONE	18
1.3.2 CAMBIO DI USO DEL SUOLO	19
2 SCOPO DELLO STUDIO	23
3 MATERIALI E METODI	24
3.1 DATA BASE – EARTH MAP	24
3.2 PREVISIONE FUTURA CAMBI DI USO DEL SUOLO.....	26
3.3 FOGLIO DI CALCOLO – EX-ACT (versione 9.3.4).....	27
3.3.1 SCENARIO 1: AVANTI CON LA DEFORESTAZIONE	32
3.3.2 SCENARIO 2: STOP DEFORESTAZIONE.....	34
3.3.3 SCENARIO 3: STOP DEFORESTAZIONE E RIFORESTAZIONE ATTIVA.....	36
4 RISULTATI	38
4.1 TERRENI COLTIVATI.....	38
4.2 AREE A MOSAICO	40
4.3 COPERTURA ARBOREA	42
4.4 VEGETAZIONE RADA.....	44
4.5 AREE URBANE	46
4.6 CAMBIO DI USO DEL SUOLO NELL'ISOLA DEL BORNEO.....	48
4.7 SCENARI.....	50
4.8 SCENARIO 1: AVANTI CON LA DEFORESTAZIONE	52
4.9 SCENARIO 2: STOP DEFORESTAZIONE	54
4.10 SCENARIO 3: STOP DEFORESTAZIONE E RIFORESTAZIONE ATTIVA.....	56
4.11 CONFRONTO TRA I N.3 SCENARI	58
5 DISCUSSIONE	60

5.1	SITUAZIONE ATTUALE.....	60
5.2	SCENARI FUTURI	62
5.3	INDICAZIONI PRATICHE.....	65
6	CONCLUSIONI	66
6.1	CAMBIO DI USO DEL SUOLO.....	66
6.2	MODELLIZZAZIONE DELLE EMISSIONI GHG FUTURE.....	66
6.3	CONSIDERAZIONI GENERALI	66
7	BIBLIOGRAFIA	68
8	SITOGRAFIA	76
	ALLEGATO A	77
	RINGRAZIAMENTI	83

PREMESSA

Il Borneo è la terza isola del mondo per superficie, situata nel sud-est asiatico con un'estensione di 743.107 km². È inoltre l'unica isola al mondo divisa in tre nazioni: Malaysia (regioni di Sabah e Sarawak), Brunei e Indonesia (regione del Kalimantan). Prima di questa suddivisione nel corso della storia si erano avvicendati molti poteri, come ad esempio olandesi, britannici, giapponesi e gruppi musulmani, interessati alla posizione commerciale strategica dell'isola, soprattutto per il commercio di spezie provenienti dall'Asia. L'isola, infatti, si trova in posizione centrale tra quattro mari (Mar Cinese Meridionale, Mar di Sulu, Mar di Celebes e Mar di Giava). Fu solo dopo la Seconda guerra mondiale, quando il governo giapponese fu rimosso dall'isola e il governo olandese e britannico tentarono di ripristinare il controllo delle colonie che la popolazione locale insorse per l'indipendenza. La libertà di governo fu concessa a gruppi separati di abitanti e così si venne a creare la suddivisione sopra descritta (Coroniti, 2022).

Avendo ottenuto gli abitanti dell'isola il pieno controllo e l'indipendenza, l'interesse nazionale si allontanò dalle priorità commerciali delle precedenti nazioni colonizzatrici e l'attenzione si spostò sulla creazione di autosufficienza economica senza direttive europee. Obiettivo primario, essendo un'economia in via di sviluppo, fu creare autosufficienza garantendo accesso e disponibilità costanti di cibo. Ciò portò a un'espansione agricola su larga scala in tutta l'isola, dove colture come riso, tabacco, pepe, canna da zucchero e molte altre sono state piantate in aree in cui la foresta era stata rasa al suolo o bruciata. (Coroniti, 2022)

1 SITUAZIONE ATTUALE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI NELLE FORESTE DEL BORNEO

1.1 LE FORESTE IN BORNEO

L'isola del Borneo è nota per i suoi ambienti unici e la ricchezza di biodiversità vegetale e animale. Quest'isola, tuttavia, è nota anche per l'elevato grado di perdita di questi ambienti, dovuto principalmente all'attività umana. Si calcola che all'inizio del 1900 il 96% della superficie dell'isola fosse occupata da foresta. Nel 2005 la copertura era ancora il 71%, mentre nel 2015 è scesa al 55% (Wulffraat et al., 2016). Sono presenti tuttora diversi tipi di vegetazione, che costituiscono ben sette ecosistemi, dalla foresta tropicale montana alle mangrovie sulla costa, passando per la foresta pluviale di collina e pianura, la foresta di torba e paludi e la foresta di brughiera.

1.1.1 FORESTE TROPICALI NEL BORNEO

Si stima che le foreste pluviali del Borneo abbiano circa il doppio dell'età della foresta pluviale amazzonica (Coroniti, 2022). Questo habitat ecologico è considerato il luogo biologicamente più diversificato sulla Terra, con foreste pluviali così fitte che tuttora gli scienziati continuano a scoprire nuove specie ogni anno (Shoumatoff, 2017). Gli esperti del World Wildlife Fund (WWF) hanno suddiviso il Borneo in sette ecoregioni: cinque tipi di foreste di pianura, le foreste pluviali di montagna del Borneo centrale e i prati alpini del monte Kinabalu (WWF, 2006).

L'ecoregione delle foreste di pianura ricopre un'area di 427.500 km². Le pianure del Borneo sono caratterizzate da un clima stabile, con precipitazioni mensili superiori ai 200 mm durante tutto l'anno e temperature mai inferiori ai 18 °C. Questo clima fornisce un ambiente ideale allo sviluppo di circa 10.000 specie di piante (più di quelle presenti nell'intero continente africano). Tra queste figurano circa 2000 orchidee e 3000 specie arboree, comprese 267 Dipterocarpacee, delle quali 155 endemiche del Borneo. L'isola costituisce il maggiore centro di diversità delle Dipterocarpacee del mondo.

Questa ecoregione inoltre ospita un gran numero di mammiferi di ambiente forestale, che vanno dal più piccolo scoiattolo del mondo, lo scoiattolo pigmeo del Borneo (*Exilisciurus exilis*), al più grande animale terrestre dell'Asia, l'elefante asiatico (*Elephas maximus*), senza dimenticare le oltre 380 specie di uccelli. Queste sono le foreste più colpite dalla deforestazione all'interno del Borneo a favore principalmente dell'industria del legname e della conversione in piantagioni di caucciù e palma da olio o in terreni agricoli di piccola scala, ma anche per la ricerca di petrolio e carbone.

1.1.2 AREE PROTETTE

Le aree protette sono delle aree naturali, istituite mediante leggi apposite, con la funzione di preservare l'equilibrio ambientale di un determinato luogo, aumentandone o mantenendone l'integrità e la biodiversità. Le aree protette sono state ampiamente riconosciute come un baluardo contro la deforestazione in Indonesia, tuttavia, sono ancora vulnerabili all'azione antropica a causa principalmente di aspetti socioeconomici (domanda di materie prime, in particolare piantagioni di palma da olio e fibra di legno) (Santoro et al., 2023). Ad esempio, la domanda di olio di palma ha causato un significativo cambiamento della copertura forestale (persi più di 29.000 km²) nelle aree protette di pianura del Kalimantan dal 1985 al 2001 (Curran et al., 2004). Il problema è che la maggior parte delle aree protette sono sottofinanziate e sotto protette, sono piccole e frammentate e sono costantemente invase poiché non dispongono della manodopera necessaria per gestirle adeguatamente (Tisen e Bennett, 2002). Inoltre, hanno una ridotta estensione totale: ad esempio nel Sarawak ci sono 23 parchi nazionali e cinque riserve naturali, con una superficie cumulativa di 521.562,5 ettari che tuttavia è pari solo al 4,23% della superficie totale. Il Sarawak mira a proteggere almeno il 10% della sua superficie (SFC, 2012) per cui la cifra attuale del 4,23% è ancora al di sotto dello status delle aree terrestri protette globali, che era pari al 12,2% nel 2009 (UNEP, 2009). In più, la copertura proposta sarebbe ancora inadeguata a preservare l'intera gamma della diversità biologica (ITTO, 1990). Una valutazione del 1997 dello stato di alcune aree protette in Malaysia ha infatti mostrato che molte aree erano in condizioni degradate e non erano protette efficacemente perché isolate (MacKinnon, 1997). Gran parte delle foreste esterne alle aree protette vengono convertite ad altri usi agricoli o concesse in licenza per attività di disboscamento, esercitando una maggiore pressione sulle aree protette esistenti. Le foreste pluviali di pianura si stanno degradando e stanno scomparendo a un ritmo allarmante, a causa del disboscamento e della conversione per legname, usi agricoli e di sviluppo. Sebbene questa situazione giustifichi una maggiore protezione delle foreste esistenti che sono ancora intatte, purtroppo anche le aree protette non vengono risparmiate dalla distruzione o dal degrado, per cui il tasso di perdita di copertura forestale all'interno delle aree protette è più rapida che all'esterno in alcune parti del Borneo indonesiano (Curran et al., 2004). Idealmente, un'area protetta dovrebbe essere costituita da una "zona centrale" e circondata da una "zona cuscinetto". Al di là della zona cuscinetto c'è solitamente una "area di transizione", che non è strettamente delimitata e consente attività di sviluppo (WRI et al., 1992). Un'area protetta priva di zona

cuscinetto è soggetta a cambiamenti nell'uso del territorio che la circonda, riducendone la capacità di conservazione ed esponendola a varie minacce. Il disboscamento, ad esempio, migliora l'accesso a foreste che un tempo non erano accessibili, il che si traduce successivamente in un aumento delle attività di caccia. La creazione di una zona cuscinetto può essere in grado di ridurre l'incidenza di sconfinamenti e attività illegali all'interno di un'area protetta. In molti casi, le aree protette del Sarawak condividono i confini con foreste produttive o terreni agricoli e hanno margini minimi o quasi nulli tra di loro. Una zona cuscinetto consente di mettere in atto una strategia di gestione per regolamentare e limitare l'uso del territorio circostante un'area protetta (Hon e Shibata, 2016).

Per sostenere la biodiversità, oltre a non essere isolate ed avere una zona cuscinetto, le aree protette dovrebbero essere più grandi in quanto alcune specie migrano in raggi più estesi della grandezza dell'area protetta. Ad esempio, il maiale barbuto migra in un raggio di 1 Mha e le volpi volanti hanno un home-range diurno di 1.120 ha (Hon e Shibata, 2016).

Una soluzione può essere la distribuzione delle foreste produttive attorno alle aree protette. Esse fanno da zona cuscinetto e mantengono almeno in parte la biodiversità. Per esempio, è stata documentata la presenza del gatto baio endemico del Borneo e dello zibetto di Hose all'interno delle foreste di produzione. Le foreste di produzione dovrebbero pertanto essere integrate con le aree protette come un'unica grande unità al fine di massimizzare la connettività forestale con lo scopo di creare una rete di foreste incontaminate intrecciate e collegate da habitat non ottimali ma almeno rilevanti nell'ambiente delle foreste di produzione.

1.2 SERVIZI ECOSISTEMICI FORESTALI

1.2.1 PRODUZIONE DI LEGNAME (SERVIZI DI FORNITURA)

Le foreste di dipterocarpi del Borneo sono le più grandi del pianeta, dove vivono 250 specie endemiche, tra cui l'albero tropicale più alto esistente, la *Shorea faguetana*. Dal punto di vista economico, questi alberi hanno per molti un valore pari o superiore a quello che hanno dal punto di vista ambientale, poiché rappresentano la principale esportazione di legname tropicale di qualsiasi specie di albero sul pianeta (Dopico, 2019). Il valore del legname deriva dalle dimensioni degli alberi, alcuni dei quali superano i 90 metri di altezza, insieme all'alta qualità e alla durabilità del legno. Nel Kalimantan, questi alberi vengono tagliati e venduti per 9,2 miliardi di dollari all'anno, dove il legno viene utilizzato per mobili e oggetti da costruzione (Butler, 2005). I dipterocarpi sono anche noti per fornire composti usati nel settore medico (Cumbers, 2019). Un esempio interessante è la regione del Sarawak: dati storici mostrano che alla fine degli anni '70 circa il 76% del Sarawak era coperto da foreste e il 90% di queste era soggetto a concessione di disboscamento portando così a un disboscamento di più del 30% di esse tra il 1963 e il 1986 (Blaser et al., 2011). L'Organizzazione Internazionale del Legno Tropicale (ITTO, 1990) ha raccomandato di limitare la produzione a 9,2 Mm³ per essere sostenibili nel lungo periodo, a condizione che i trattamenti selvicolturali siano applicati con limitazioni a tagli forestali in demanio e in forti pendenze. Nel solo Sarawak, il numero di lavoratori impiegati nell'industria del legname, ad esempio nelle segherie e nella lavorazione del legno, ha raggiunto 193.011 nel 2005 (Government of Malaysia, 2011). Il ruolo della Malesia, e in particolare del Sarawak, nell'economia globale del legname tropicale, è significativo. Nel 2009, Sarawak ha raccolto 4,563 miliardi RM (raggit malese) di entrate forestali (DOS, 2011), di cui le entrate dirette derivanti dalla riscossione di premi, royalties e tariffe ammontavano a 412 milioni di RM, ovvero il 9,03% delle entrate totali (FDS, 2009). A causa della diminuzione delle scorte di legname nelle foreste naturali, in tempi più recenti, si stanno espandendo le piantagioni forestali, determinando significativi cambiamenti nell'uso del suolo nel Sarawak. Un'altra causa di questa espansione è la maggiore resa produttiva di queste piantagioni (Vanclay, 1996), in gran parte dovuta all'omogeneità delle specie arboree che possono essere abbattute una volta mature, generando una fornitura costante di legname.

1.2.2 EREDITA' CULTURALE E IDENTITA' (SERVIZI CULTURALI)

Nel Borneo ci sono numerose tribù che vivono da sempre nelle foreste primarie. Le principali popolazioni sono i Dayak e i Penan. I Dayak sono stanziati principalmente

nel Kalimantan e nel Sarawak. Vivono sovente in gruppi di palafitte e sono dediti alla caccia, alla pesca e all'agricoltura principalmente di riso, praticate con attrezzi rudimentali e su piccolissima scala. In alcuni casi estraggono in autonomia oro, antimonio, diamanti e altri minerali preziosi (ad esempio in Landak e Sarawak). Per il loro sostentamento hanno quindi bisogno della foresta. I Penan sono tradizionalmente una popolazione nomade di cacciatori-raccoglitori che vive nelle foreste pluviali del Sarawak. Al giorno d'oggi i Penan sono circa 10-12.000 e, anche se alcuni conducono ancora una vita completamente nomade, la maggior parte vive in comunità stanziali ma continua a dipendere in tutto e per tutto dalle risorse dalla foresta per la propria esistenza. (survival; lifegate, 2024) Infatti i Penan sono famosi cacciatori di cinghiali, cervi e anche animali più piccoli e pescano dai torrenti che scorrono nelle loro terre, hanno un'alimentazione basata sul sago, il cuore di una piccola palma, e anche sulla raccolta di felci e frutti dalla foresta. Nelle aree in cui la foresta è stata completamente sacrificata al disboscamento e alle piantagioni di palma da olio, per i Penan sta diventando praticamente impossibile continuare a sostentarsi autonomamente. (survival, 2024)

Culturalmente le popolazioni indigene, come i Penan e i Dayak, sono molto legate alla foresta, loro fonte di sostentamento, tanto da avere alcuni culti e riti legati proprio alla foresta. Ad esempio, ancora oggi presso i Dayak Kantù, gli áuguri sono un importante mezzo di contatto con gli spiriti Burong Antu e sono i sette uccelli che hanno caratteristiche particolari e che vengono utilizzati in varie pratiche rituali.

Un ulteriore utilizzo della foresta da parte delle popolazioni locali è la medicina. Nelle società tradizionali del Borneo sono sempre esistiti ed esistono tutt'ora sistemi di conoscenza indigeni che identificano e categorizzano specie botaniche per fini curativi. Per lungo tempo si è creduto che fossero solo descrizioni e percezioni della natura senza fondamento scientifico, tuttavia, dagli anni '60, con la comparsa di studi etno-farmacobotanici, essi sono stati legittimati come veri e propri sistemi di conoscenza funzionanti con cui le piante vengono identificate, classificate e usate secondo criteri unici e tramandati oralmente, seppur poco correlati con la "medicina ufficiale occidentale". (Pieroni, 2007)

1.2.3 BIODIVERSITA' (SERVIZI DI SUPPORTO)

Il termine biodiversità è stato utilizzato in riferimento alla diversità strutturale di una comunità, ecosistema o paesaggio, o anche alla diversità della loro storia. In alternativa, è stato adottato per la diversità filogenetica e di specie e per la ricchezza che si riferisce al numero di specie in una comunità o ecosistema. Fondamentalmente, però, è la diversità delle

sequenze geniche presente negli organismi viventi (Noss et al., 1997). Si stima che più della metà della biodiversità di questo pianeta sia presente solo nelle foreste pluviali tropicali sempreverdi di pianura (Ashton, 2008), con una stretta interconnessione tra biodiversità vegetale e animale. Come con qualsiasi ecosistema, anche se il modo esatto delle interazioni al suo interno è sconosciuto, è noto che le specie all'interno dei diversi habitat del Borneo esistono in una rete di relazioni interconnesse che sostengono il funzionamento dell'intero sistema. L'intervento umano, come il disboscamento o la conversione del suolo a piantagioni, può alterare questi habitat portando a una perdita di biodiversità sia vegetale che animale. Man mano che l'habitat si restringe e si frammenta, le conseguenze negative come gli effetti marginali iniziano ad alterare la composizione vegetale dell'area, in quanto favoriscono specie più tolleranti che a loro volta modificano la composizione faunistica dell'area (Laurance et al., 2007). Nel Borneo, le foreste entro 500 metri da un confine creato dalla deforestazione hanno il 25% in meno di biomassa rispetto all'interno (Qie et al., 2018).

BIODIVERSITA' VEGETALE

La foresta tropicale si trova all'interno della zona equatoriale tra i tropici del Cancro e del Capricorno e presenta un'abbondanza di specie e un endemismo di specie molto elevati rispetto a qualsiasi altra regione del mondo (Myers, 1988). Esistono oltre 185.000 specie di piante da fiore (Prance, 1995), di cui circa 37.000 specie sono alberi (Odegaard, 2000). All'interno della regione della foresta tropicale il Sud-Est asiatico costituisce uno dei punti caldi della biodiversità globale e in particolare l'isola del Borneo ha la più ricca diversità di alberi, tra 10.000 e 15.000 specie (MacKinnon et al., 1996; Wikramanayake, 2001). Il Borneo, ad esempio, è il centro di distribuzione della famiglia Dipterocarpacea che comprende 291 specie ed è una specie di legname commerciale dominante e importante nel sud-est asiatico (Ashton, 1982; Soepadmo, 1995; Ashton, 2004) e non è eguagliata da nessun'altra parte del mondo (Whitmore, 1988). Una media di 12 nuove specie è stata scoperta ogni anno nel Borneo dal 1994, e si sa che le foreste ospitano oltre 15.000 specie di piante, oltre 1.400 specie di vertebrati e un'incalcolabile quantità di specie di insetti, con oltre 6.000 piante e oltre 100 animali endemici della zona (Shoumatoff, 2017).

Andando ad analizzare più nel dettaglio la situazione del Borneo possiamo studiare diversi tipi di ecosistemi. Le foreste di dipterocarpi sono le più grandi del pianeta, dove vivono 250 specie endemiche (Shoumatoff, 2017). Un'altra regione ricca di biodiversità che si distingue dalle altre forme di giungla sono le foreste montane, che si trovano tra i 1.000 e i 4.095 metri sul livello del mare in tutte le montagne del Borneo (Coroniti, 2022),

sopra agli altri ecosistemi del Borneo. Nel Borneo, la prima transizione dai dipterocarpi della zona di pianura comprende querce, faggi e castagni, che si trovano solo a circa 300-500 metri sopra la catena dei dipterocarpi prima di lasciare il posto a paesaggi dominati dalle ericaceae. Questi alberi continuano fino a 3.000-3.400 metri finché non lasciano il posto alla vegetazione alpina più arbustiva, più bassa e resistente alle condizioni atmosferiche estreme, che comprende oltre 30 specie di piante carnivore adattate in modo unico e oltre 800 specie di orchidee (Wikramanayake, 2001). Per fortuna, la distruzione di queste foreste è stata limitata a causa della loro generale inaccessibilità e della mancanza di terreni fertili, ma rimane la preoccupazione per le specie contenute al loro interno. Poiché il cambiamento climatico globale continua a spostare la distribuzione degli ecosistemi e delle specie, la stratificazione degli strati della composizione forestale montana verranno invasi dal basso, costringendo gli strati superiori a ridurre le loro dimensioni o a cessare di esistere (Remington, 2018).

Le foreste di brughiera un tempo dominavano il paesaggio delle pianure del Borneo, con stime di base per la copertura dell'area pari a circa 7 milioni di ettari; a partire dal 2010, le foreste erano così ridotte che la Banca Mondiale ha previsto la completa estinzione di questo tipo di ecosistema entro il 2030 (Butler e Rhett, 2020). Questo tipo di foresta è la meno ricca di biodiversità tra tutte quelle del Borneo, anche se ospita ancora una ricchezza di composizione di specie notevole rispetto ad altri tipi di foresta presenti in altre parti del globo: in 12.600 metri quadrati di foreste di brughiera del Borneo, sono state identificate 87 diverse specie di alberi (Butler e Rhett, 2020). I pochi ettari rimasti di foresta di brughiera non servono più efficacemente al loro scopo ambientale, e ora rappresentano un avvertimento su ciò che potrebbe accadere agli altri sistemi del Borneo se l'espansione non sarà regolata.

Le foreste di mangrovie circondavano il perimetro dell'isola. Le radici intrecciate e semisommerse degli alberi fungono da vivaio per molti pesci giovani e specie di crostacei che non sono preparati a difendersi in mare aperto, mentre le cime degli alberi forniscono l'habitat agli uccelli e al gatto selvatico più raro sulla terra, il gatto dalla testa piatta (Wilting et al., 2010). Oggi, circa la metà di tutte le mangrovie intorno al Borneo sono state deforestate, e quasi il 40% della distruzione deriva dai progetti di conversione dei terreni delle piantagioni di palma da olio e di riso sull'isola (Wikramanayake, 2001).

BIODIVERSITA' ANIMALE

Il Borneo è una regione ricca di biodiversità animale, non solo vegetale ed anzi queste sono strettamente connesse tra loro. La gamma di habitat fornita dai diversi ecosistemi forestali crea l'unico posto sulla terra dove coesistono elefanti, tigri, rinoceronti e oranghi. Ognuna di queste specie carismatiche, insieme a un ampio elenco di specie rare ed endemiche, è in pericolo o in pericolo critico secondo la Lista Rossa IUCN delle specie minacciate (Lista Rossa IUCN). Orsi del sole, scimmie proboscis, leopardi nebulosi, gatti bai del Borneo, uccelli del paradiso, piante carnivore, rane volanti, scoiattoli e lemuri: tutti presenti solo nel Borneo e tutti in calo demografico a causa diretta della deforestazione (Coroniti, 2022). Nonostante questo, possiamo dire che la biodiversità di questo luogo è peraltro costituita in maggioranza da insetti e microrganismi e diventa così impossibile la valutazione dei cambiamenti della biodiversità attraverso la misurazione diretta della sua totalità (Ashton, 2008). La biodiversità è quindi minacciata dalla deforestazione. La creazione di aree protette non è sufficiente, poiché troppo esigue e lontane fra loro (Bennet, 1999): gli animali, in particolare i vertebrati, a differenza delle piante, sono mobili e hanno necessità di vaste aree per sopravvivere, quindi la riduzione delle aree di habitat ha un notevole impatto sui tassi di estinzione. Un ruolo complementare alle aree protette nella conservazione faunistica sono le piantagioni forestali poiché, oltre a porre regole sostenibili per il disboscamento, creano corridoi faunistici tra le aree protette collegando habitat protetti (Ashton, 2008). La diversità può essere parzialmente preservata in un ambiente forestale gestito, ma totalmente persa se convertito (ITTO, 1990) come avviene con la trasformazione in piantagioni monocolturali.

1.2.4 SINK E STOCK DI CARBONIO FORESTALE (SERVIZI DI REGOLAZIONE)

Una importante funzione che svolgono le foreste è il ruolo che ricoprono nel ciclo globale del carbonio, assorbendo l'anidride carbonica atmosferica (CO₂) e immagazzinandola come parte della biomassa arborea. Nel sud-est asiatico insulare una notevole quantità di carbonio legnoso non completamente decomposto si è accumulata sotto forma di torba nel corso di migliaia di anni sotto le foreste paludose (Page et al., 2011). Si stima che venga trattenuta una maggior quantità di carbonio nelle torbiere che nella biomassa delle altre foreste. Anche se le torbiere occupano solo il 3% della superficie terrestre, immagazzinano il doppio del carbonio della Terra rispetto alle foreste, estese sul 30% della sua superficie. È notevole, infatti, la percentuale di carbonio che viene immagazzinata proprio come torba: si stima che il contenuto di carbonio della torba nel Borneo sia circa 68,5 Pg, corrispondente al 77% del carbonio globale della torba tropicale (Cooper et al., 2020). Per questo motivo i cambiamenti

nell'uso del territorio nel Borneo, in particolare la conversione delle foreste torbierie in piantagioni, potrebbero avere un impatto importante sul cambiamento climatico (Shiraishi et al., 2023). Si stima che tra il 2010 e il 2017 le foreste tropicali di torbierie contenessero circa il 20% del carbonio globale di torbierie (Page et al., 2011; Draper et al., 2014; Dargie et al., 2017), mentre una stima del WWF del 2020 asseriva che le foreste torbierie ancora esistenti nel Borneo contenessero oltre 6,4 Gt di carbonio (pari a quasi il 20% delle emissioni globali annuali di carbonio rilasciate nel 2020), fungendo comunque ancora da importante serbatoio di carbonio allo stato solido. Il contributo delle foreste torbierie allo stoccaggio del carbonio è attualmente minacciato dall'attività umana: i cambiamenti di uso del suolo, come l'espansione su larga scala dell'agricoltura basata sul drenaggio, compresa la produzione di palma da olio e pasta di legno nelle torbierie (Miettinen, 2016), ma anche la deforestazione e gli incendi trasformano le torbierie da pozzi di carbonio a forti emettitrici di carbonio (WWF) che avrà un profondo impatto sul clima globale poiché agisce come un gas serra nell'atmosfera. Il drenaggio delle torbierie, infatti, aumenta i livelli di ossigeno nel terreno, che a sua volta aumenta il tasso di decomposizione del materiale organico, con conseguente aumento della emissione di CO₂ dalle torbierie drenate (Couwenberg et al., 2010; Dariah et al., 2014; Matysek et al., 2017). Inoltre, gli incendi delle torbierie causano un importante rilascio di carbonio e contemporaneamente la copertura arborea e il potenziale di sequestro di carbonio diminuiscono, aumentando ulteriormente il divario tra carbonio sequestrato e rilasciato. Da considerare anche il fatto che un incendio che coinvolge torbierie drenate, quando queste raggiungono uno stato di essiccazione a meno del 55% in peso, può causare un incendio senza fiamma nel sottosuolo, pertanto, oltre alle significative emissioni di carbonio durante l'incendio, si ha un'ulteriore considerevole emissione post-incendio a causa del fuoco senza fiamma. Lo studio di Astiani et al del 2018 evidenzia anche come ci sia un aumento del 46% delle emissioni di carbonio derivanti dalla respirazione del suolo post-incendio che aumentava progressivamente fino al 9° mese dopo l'incendio, per poi declinare e raggiungere un'emissione stabile 11 mesi dopo l'incendio. Secondo le stime del Global fire emission database (Gfed), gli incendi del 2015 hanno prodotto quasi 2 miliardi di tonnellate di gas serra. Inoltre, poiché gli incendi per il disboscamento continuano a essere rapidamente seguiti dalla creazione di piantagioni, viene eliminata l'opportunità per le foreste incolte di svilupparsi e riconquistare parte del carbonio perduto.

1.3 I DISTURBI FORESTALI IN BORNEO

1.3.1 DEFORESTAZIONE

Le foreste tropicali del Sud-Est asiatico registrano il più alto tasso di perdita e degrado, con il risultato che rimane meno della metà della copertura forestale originaria (Corlett e Primack, 2008; Achard et al., 2002). Nel Borneo, infatti, agli inizi degli anni '70 circa il 75% della superficie era ancora ricoperto di foreste e dal 1973 al 2010 l'area forestale si è ridotta di circa il 30%, il che corrisponde a quasi il doppio della velocità di deforestazione osservata nelle foreste tropicali in altre aree del mondo (David et al., 2014). Nel 2001 addirittura, il WWF aveva previsto che se la deforestazione fosse continuata con la stessa tendenza, nel 2010 non vi sarebbero più state foreste di pianura del Borneo (WWF, 2021). Sebbene questa previsione non si sia avverata, la lista rossa IUCN del 2008 riportava una previsione del 2005 secondo la quale la copertura forestale dell'isola del Borneo, se gli attuali tassi di deforestazione fossero continuati, sarebbe diminuita dal 50% a meno di un terzo entro il 2020. In particolare, la regione del Kalimantan tra il 2001 e il 2018 ha registrato il maggior grado di perdita con un totale di 88.504 km² di deforestazione, con una media annua di 4.916 km². (Singh e Yan, 2021; Santoro et al., 2023). Ma non diminuivano solo le foreste in generale: negli anni precedenti (1985-2001), sempre nel Kalimantan, anche le foreste protette di pianura sono diminuite del 56% (Curran et al., 2004). La conversione in piantagioni di palma da olio era e rimane una delle principali cause di deforestazione nel Kalimantan (Sumarga e Hein, 2016). Tuttavia, i modelli di espansione della palma da olio e i suoi impatti variano tra le diverse province. Anche in altre regioni del Borneo, ad esempio lo stato malese del Sarawak, i principali usi del territorio includono il disboscamento, sia come attività economica di rilievo, sia come precursore del cambio d'uso del suolo, per esempio per l'agricoltura e le piantagioni forestali. La deforestazione e il degrado nel Sarawak, ad esempio, si verificano a un tasso dello 0,64% annuo, in gran parte a causa dell'espansione delle piantagioni di palma da olio che aumentano a un tasso medio del 10,2% annuo. In più sempre più aree vengono convertite in piantagioni forestali, che rappresentano il 3,25% della superficie boschiva totale. D'altro canto, le aree protette rimangono piccole, rappresentando solo il 6,64% della superficie forestale totale o il 4,23% della superficie totale, e sono situate molto distanti tra loro.

Un'altra importante conseguenza della deforestazione è il maggior rischio di incendi che essa comporta: la deforestazione causa un mutamento del profilo delle precipitazioni che, associato a una maggior esposizione al vento dovuto sempre alla riduzione della copertura

forestale, causa una maggior siccità con un conseguente aumento del numero di incendi (Siegert et al., 2001; Page e Hooijer, 2016; Miettinen et al., 2012a, 2012b; Vetrina e Cochrane 2020). In più la deforestazione delle foreste torbiere causa una maggior accessibilità facilitando l'attività di drenaggio da parte dell'uomo, la quale causa un notevole incremento del numero di incendi (Wösten et al., 2008; Hoscilo et al., 2011; Widyastuti et al., 2020; Imron et al., 2022) che a loro volta causano una ulteriore perdita di foresta, una ridotta capacità di immagazzinare CO₂ e anzi un incremento delle emissioni di CO₂ e gas serra nell'atmosfera. Sono ad esempio tristemente famosi, in particolare per la loro estensione e durata, gli incendi di torbiere nel periodo 1997-1998 (Page et al., 2002) e nel corso del 2015 (Huijnen et al., 2016) poiché ad esempio questi ultimi hanno distrutto 0,8 Mha di foresta e hanno emesso circa 227±67 Tg di carbonio nell'atmosfera (Huijnen et al., 2016). La deforestazione e il degrado forestale attraverso la combustione e la decomposizione della biomassa forestale e del carbonio del suolo sono diventati quindi problemi globali anche a causa del loro contributo in termini di gas serra al cambiamento climatico globale.

Un'altra importante conseguenza della deforestazione da tenere in considerazione è l'effetto che essa causa sulla vita della popolazione locale, come i Penan nel Borneo Malese e i Daiak. Con la deforestazione la selvaggina scappa in zone sempre più remote, i fiumi si insabbiano e inquinano e il pesce scarseggia, così i Penan non hanno più le loro fonti di sostentamento, si riducono in estrema povertà e si ammalano per la denutrizione (survival); i Daiak rivendicano il diritto di mantenere vive le proprie tradizioni, come la caccia e l'uso di palafitte all'interno della foresta: entrambe le popolazioni sono tuttavia osteggiate dai rispettivi governi e costrette a combattere per la loro causa contro i governi e contro i colossi del legname e dell'olio di palma ad esempio bloccando gli accessi alle ruspe delle compagnie alle aree disboscate e alle proprie terre. Il governo malese del Sarawak infatti non ha mai riconosciuto i diritti territoriali dei Penan e dal 1970 ha promosso lo sfruttamento commerciale su larga scala del legname nelle terre tribali di tutto il paese.

1.3.2 CAMBIO DI USO DEL SUOLO

La copertura del suolo sta cambiando a un ritmo molto rapido, per cui gli ecosistemi naturali e le foreste vengono convertiti ad altri usi del suolo come piantagioni su larga scala e aree agricole dominate da piccoli proprietari (Koh e Wilcove, 2008; Wilcove e Koh, 2010) o si degradano a causa del fuoco e del disboscamento (Achard et al., 2002; Langner et al., 2007; Miettinen et al., 2011). Dopo incendi e disboscamento queste aree sono comunque sempre sottoposte a enormi pressioni per essere convertite ad altri usi più redditizi del territorio

(Laurance, 2007), a meno che non venga concesso loro lo status di protezione perpetua. Ad esempio le foreste torbiere non vengono utilizzate in primis come fonte di legname, per il quale sono molto più comode le foreste di dipterocarpo, ma è più redditizio l'uso che deriva dai nutrienti rilasciati quando vengono bruciate e poi convertite in piantagioni agricole. Gli incendi di torba del 1997 hanno distrutto una considerevole quantità di quelle che in precedenza erano foreste primarie di torbiere, aprendo la porta a molti permessi di sviluppo sulle fonti bruciate ma fertili. A questo risultato si è giunti attraverso varie fasi. Storicamente infatti, la prima attività agricola ad avere un impatto significativo sulle foreste del Sarawak è stata la gomma (*Hevea brasiliensis*) introdotta nel 1881. Nel 1964, la gomma fu sostituita dal legname come principale esportazione quando alla fine degli anni '40 iniziò il disboscamento su larga scala, principalmente lungo le foreste torbiere costiere (Aiken e Leigh, 1992). La selvicoltura si è intensificata nel corso degli anni '70, quando è migliorata la tecnologia di disboscamento in collina (Wong, 1992) e ciò ha accelerato lo sfruttamento delle foreste interne (Aiken e Leigh, 1992). Le foreste miste di dipterocarpi, che contenevano specie grandi e alte come *Dryobalanops lanceolata* e *Dipterocarpus caudiferus*, furono le prime ad essere disboscate e successivamente convertite in agricoltura (Ashton, 1995). Attualmente l'impatto maggiore derivante dalla conversione del territorio nel Sarawak è la palma da olio (*Elaeis guineensis*), accelerato dall'esaurimento delle riserve fondiari nella Malesia peninsulare. Nell'ambito della Terza Politica Agricola Nazionale (1998-2010), più terra nel Sarawak è stata destinata alla coltivazione della palma da olio (MOA, 1998) e da allora è stato raggiunto un incremento medio annuo del 10,5% nella superficie coltivata dal 2002, il più alto in tutti i paesi stati della Malaysia. Il calcolo diretto basato sull'incremento annuale della superficie coltivata a palma da olio rispetto alla superficie totale mostra un tasso di conversione medio annuo minimo dello 0,42% a partire dal 2002, in gran parte convertito da foreste paludose torbiere (Tsuyuki et al., 2011).

PIANTAGIONI DI PALMA DA OLIO

La creazione di piantagioni di palma da olio nel Borneo iniziò agli inizi del 1800 ed ebbe una successiva espansione a livello esponenziale. Le ragioni di questo successo sono plurime. L'olio di palma è di gran lunga il seme più produttivo in termini di olio utile prodotto ed è molto ricercato per la moltitudine di caratteristiche redditizie che possiede (Coroniti, 2022). Ha infatti la maggiore resa di oli raccolti dai suoi frutti e semi tra tutte le piante produttrici di olio, producendo in media 4,7 volte più olio rispetto ai concorrenti più vicini (Berwyn, 2018; Taylor, 2022). Inoltre, la forma delle piante stesse è economicamente

preferibile, poiché la loro significativa crescita verticale consente di piantarne molte di più per unità di superficie rispetto a fonti di olio estese o a bassa crescita come la soia. A questo si aggiunge il prezzo di mercato più basso e la garanzia che non scadrà a temperatura ambiente, diventando così il principale costituente degli oli vegetali. Infine, oltre che in cucina, l'olio di palma viene aggiunto a molti altri prodotti come shampoo, benzina e cosmetici. Nel 2015, secondo uno studio di Greenpeace, l'olio di palma è stato trovato in oltre il 40% dei prodotti in paesi come gli Stati Uniti e l'Australia. Al di fuori degli alimenti e dei beni comuni, l'olio di palma si è fatto strada anche in articoli come compensato, carrozzerie di automobili e pannelli di fibra. La sua versatilità come pianta singola è davvero impareggiabile, il che ha consentito l'espansione delle piantagioni di olio di palma con un ritmo altrettanto ineguagliato e una equivalente scia distruttiva (Tillis, 2019). Se infatti in un primo momento, ovvero agli inizi del 1800, quando ancora il paese era sotto l'occupazione britannica, la domanda globale fu moderata nonostante la popolarità crescente come materia da esportazione, dal 1995, quando ci fu un picco di produzione pari a 15.2 milioni di tonnellate di olio prodotte (Tillis, 2019), ci fu un incremento vertiginoso della domanda di olio. Di conseguenza la foresta pluviale del Borneo venne bonificata per far posto alle monoculture di palma da olio con più fervore di quanto il paese avesse visto durante le prime fasi della crescita economica. Il disboscamento ha raggiunto un punto di così grande intensità nel 1997, 2003, 2015 e 2019 che la foschia del sud-est asiatico venne attribuita principalmente al taglio e all'incendio utilizzati sull'isola (Butler e Rhett, 2020). L'espansione del settore non ha mai mostrato segni di rallentamento. Se queste tendenze di aumento della domanda continueranno senza che vengano stabiliti mezzi sostenibili per soddisfarle, le foreste pluviali del Borneo continueranno ad affrontare la distruzione dell'ambita foresta primaria che potrebbe ridurre la copertura a meno del 30% in pochi decenni (Gaveau et al., 2018). Molti studi esistenti si concentrano su singoli siti o fanno confronti tra foreste e piantagioni di palma da olio mature senza tenere conto del processo di conversione, oppure si concentrano solo su uno o due dei gas serra prodotti (Melling et al., 2005; Melling et al., 2007; Jauhiainen et al., 2012) rendendo difficile calcolare i fattori di emissione complessivi delle piantagioni di palma da olio. Si sa però che la rapida perdita di carbonio labile in seguito alla conversione implica che le emissioni in situ durante la fase iniziale della conversione saranno più elevate rispetto a quelle delle piantagioni mature (Cooper et al., 2019). Lo studio di Cooper & Co, infatti, evidenzia come le emissioni di CO₂ dalla palma da olio giovane rispetto alla palma da olio matura siano di circa il 50% in più,

supportando l'idea che durante le fasi iniziali della conversione delle foreste torbiere in piantagioni di palma da olio ci sia un maggior flusso di CO₂ da respirazione eterotrofa (Hooijer et al., 2012; Environmental Protection Agency, 2014). Questo aumento delle emissioni era evidente anche quando le falde acquifere erano <40 cm (Parish et al., 2012) sotto la superficie del suolo, come raccomandato dalle linee guida della Tavola Rotonda per la Palma da Olio Sostenibile (RSPO) (Evers et al., 2017). Ciò suggerisce che le attuali linee guida relative alle falde acquifere non sono sufficienti per mitigare l'elevata concentrazione di emissione di CO₂.

URBANIZZAZIONE

Lo studio di Ichikawa del 2007, condotto nel Sarawak settentrionale, a Lambir, ha indicato che i cambiamenti nell'uso del territorio, in particolare quelli nativi, hanno subito un'accelerazione con l'aumento dell'accessibilità stradale, il che a sua volta ha influenzato anche l'economia dell'area creata dalle richieste generate dall'espansione di attività di disboscamento e piantagioni nel territorio statale circostante.

Pertanto, si potrebbe dedurre che le attività di disboscamento e di piantagione potrebbero aver accelerato lo spostamento delle aree agricole: la prima si verifica a un ritmo più rapido nei terreni demaniali di proprietà del governo meno regolamentati, con conseguenti importanti cambiamenti nell'uso del suolo (Hon e Shibata, 2016).

2 SCOPO DELLO STUDIO

L'obiettivo di questo studio è stato in primo luogo quello di analizzare la situazione attuale e definire i trend del cambiamento di uso del suolo nel territorio del Borneo sulla base dei dati analoghi riferiti all'ultimo trentennio (dal 1992 al 2020).

A seguire, lo studio si è proposto di calcolare, per poi confrontare, le emissioni di gas ad effetto serra (GHG), espresse in tonnellate di CO₂ equivalente (tCO₂-e) derivate da diversi scenari di cambio di uso del suolo ipotizzati nei prossimi trent'anni (2020-2050) nelle foreste del Borneo:

- Proseguire con la deforestazione
- Stop della deforestazione
- Stop della deforestazione e contemporanea azione di riforestazione attiva

3 MATERIALI E METODI

Per raggiungere il primo obiettivo è stato necessario cercare i dati più significativi tra i vari data base disponibili in rete. È stato scelto il data base EARTH MAP e una volta scaricati, i dati sono stati elaborati per evidenziare i cambiamenti di uso del suolo avvenuti negli ultimi trent'anni nel territorio del Borneo e ricavare i trend di questi cambiamenti.

Successivamente, i trend sono stati utilizzati per costruire semplici modelli lineari e simulare i cambiamenti di uso del suolo nei prossimi trent'anni.

Per il secondo obiettivo è stato necessario servirsi di EX-ACT, un foglio di calcolo, per modellizzare i diversi scenari futuri e calcolare le diverse emissioni di GHG.

3.1 DATA BASE – EARTH MAP

Per recuperare i dati storici sull'uso del suolo utili allo scopo di questo studio è stato interrogato il data base on-line chiamato EARTH MAP.

Earth Map, raggiungibile al seguente link <https://earthmap.org/>, è uno strumento innovativo, gratuito e open source, sviluppato dalla Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) nell'ambito della partnership FAO-Google. È stato creato per supportare paesi, istituti di ricerca, agricoltori e membri del pubblico in generale con accesso a Internet per monitorare la propria terra in modo semplice, integrato e multi-temporale. Consente di visualizzare, elaborare e analizzare immagini satellitari e set di dati globali su clima, vegetazione, incendi, biodiversità, geo-sociale e altri argomenti. Le sue funzionalità si basano sulle capacità di elaborazione dei big data di Google Earth Engine, consentendo di effettuare analisi complesse di dati di osservazione della Terra, ambientali e climatici. I dati di Earth Map sono divisi in gruppi tematici (Clima, Geo-sociale, Vegetazione, Neutralità del degrado del suolo, Acqua, Immagini satellitari, Copertura del suolo/Usi del suolo, Silvicultura, Incendio, Geofisico, Suolo e Biodiversità) e consentono di visualizzare livelli (mappe) e di generare statistiche per descrivere le aree di interesse. Per alcuni di questi livelli Earth Map fornisce una prospettiva sia temporale (accesso ai dati delle serie temporali) che spaziale (visualizzazione delle mappe).

Per questo studio il set di dati utilizzato è il “Land Cover – ESA CCI”.

Questo set di dati è frutto del progetto CCI-LC (“Climate Change Initiative – Land Cover”) di ESA e fornisce mappe globali coerenti della copertura del suolo con una risoluzione spaziale di 300 m su base annua dal 1992 al 2020. Come parte dell'iniziativa ESA sui cambiamenti climatici (CCI), il progetto Land Cover si occupa della generazione dell'ECV (“Essential Climate Variable”) sulla copertura del suolo. La copertura del suolo è definita

come il materiale fisico sulla superficie terrestre. Le coperture del suolo includono erba, asfalto, alberi, terreno nudo, acqua, ecc.

Seguendo la suddivisione politica del Borneo sono stati scaricati i dati delle seguenti aree:

- BRUNEI DARUSSALAM
- INDONESIA
 - Kalimantan Timur
 - Kalimantan Selatan
 - Kalimantan Tengah
 - Kalimantan Barat
- MALAYSIA
 - Sabah
 - Sarawak

I set di dati sono stati scaricati in formato .CSV quindi la prima operazione necessaria per poterli elaborare è stata convertirli in file .XLSX.

Una volta ripetuta la conversione per tutti i set di dati relativi alle n.7 aree in esame è stato necessario accorparli in un unico file Excel il cui contenuto mostrava gli ettari di suolo per ogni tipologia di copertura, per ogni area, per ogni anno dal 1992 al 2020.

È stato deciso di accorpare le categorie simili, per tipologia di copertura, tra quelle in cui erano divisi i dati di EARTH MAP per avere una migliore compatibilità con le categorie presenti nel foglio di calcolo EX-ACT.

Nella tabella di seguito (Tabella 1) viene riportato l'accorpamento delle categorie in n.6 macrocategorie di cui l'ultima, "CORPI D'ACQUA", non è stata considerata nei successivi calcoli in quanto le variazioni nel tempo sono risultate trascurabili.

La macrocategoria "Terreni coltivati" raggruppa tutte le categorie appunto di terreni coltivati (irrigati e non irrigati, con copertura arborea, erbacea o arbustiva). La macrocategoria "Aree a mosaico" raggruppa tutte le categorie che hanno una copertura non omogenea che varia tra terreno coltivato, vegetazione naturale, alberi, arbusti e copertura arborea con diverse percentuali. La macrocategoria "Copertura arborea" raggruppa tutte le categorie composte totalmente da alberi. La macrocategoria "Vegetazione rada" raggruppa tutte le categorie in cui gli alberi non sono presenti ma è comunque presente una copertura vegetale (arbusti e/o erba). La macrocategoria "Aree urbane" comprende tutte le aree in cui la vegetazione naturale è stata sostituita da cemento e asfalto.

TABELLA 1: CATEGORIE DI EARTH MAP ACCORPATE PER CREARE LE MACROCATEGORIE DI USO DEL SUOLO UTILIZZATE NELLA PRIMA PARTE DELLO STUDIO

TERRENI COLTIVATI	Cropland rainfed
	Cropland rainfed: Herbaceous cover
	Cropland rainfed: Tree or shrub cover
	Cropland irrigated or post-flooding
AREE A MOSAICO	Mosaic cropland (>50%) / natural vegetation (tree shrub herbaceous cover) (<50%)
	Mosaic natural vegetation (tree shrub herbaceous cover) (>50%) / cropland (<50%)
	Mosaic tree and shrub (>50%) / herbaceous cover (<50%)
	Mosaic herbaceous cover (>50%) / tree and shrub (<50%)
COPERTURA ARBOREA	Tree cover broadleaved evergreen closed to open (>15%)
	Tree cover flooded fresh or brakish water
	Tree cover flooded saline water
VEGETAZIONE RADA	Shrubland
	Evergreen shrubland
	Grassland
	Sparse vegetation (tree shrub herbaceous cover) (<15%)
AREE URBANE	Urban areas
CORPI D'ACQUA	Water bodies

Una volta definite le n.6 macrocategorie sono state eseguite le somme di tutte le sottocategorie associate per ottenere un valore in ettari, per ogni anno, per tutto il territorio del Borneo.

3.2 PREVISIONE FUTURA CAMBI DI USO DEL SUOLO

I dati di ogni macrocategoria sono stati in seguito utilizzati per costruire grafici a dispersione con linee curve ed indicatori, con il tempo, in anni, sull'asse delle ascisse e l'estensione della copertura della macrocategoria analizzata, in ettari, sull'asse delle ordinate. Dall'insieme dei punti rappresentati sul grafico è stata generata una linea di tendenza e l'equazione di questa linea di tendenza è stata poi utilizzata per calcolare dei nuovi punti riferiti agli anni a venire fino al 2050. Nel presente studio è stata utilizzata principalmente la linea di tendenza Polinomiale tranne in un caso in cui è stata utilizzata quella Lineare. Le linee di tendenza sono state scelte, per i vari casi, in base al valore di R^2 più elevato. Tutti i dati utilizzati per generare i grafici sono riportati in tabelle consultabili nell'allegato A.

3.3 FOGLIO DI CALCOLO – EX-ACT (versione 9.3.4)

Una volta conclusa l'elaborazione dei dati scaricati dal data base, tali dati elaborati sono stati utilizzati come input per lo strumento di calcolo del bilancio del carbonio chiamato EX-ACT (Environmental eXternalities ACcounting Tool), elaborato dalla FAO e scaricabile dal sito <https://www.fao.org/in-action/epic/ex-act-tool/suite-of-tools/ex-act/en/>.

EX-ACT è un sistema di contabilità basato sull'uso del suolo che mette in relazione le attività nel settore dell'agricoltura, della silvicoltura e di altri usi del suolo (AFOLU) con:

- Valori stimati sui cinque pool di carbonio: biomassa sopra il suolo, biomassa sottoterra, legno morto, lettiera e carbonio organico del suolo e;
- Coefficienti stimati sulle emissioni di metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), anidride carbonica (CO₂), i gas serra.

In base ai dati sulle attività del settore AFOLU, EX-ACT consente stime di stock di carbonio, variazioni di stock ed emissioni di CH₄, N₂O e CO₂ che sono la base del bilancio complessivo del carbonio. EX-ACT consente agli utenti di utilizzare valori predefiniti per i pool di carbonio e per i fattori di emissione, derivando un bilancio del carbonio specificando dati di attività e cambiamenti nell'uso del suolo. Per i valori predefiniti specificati, la struttura e la logica contabile, EX-ACT segue le Linee guida IPCC 2006 per gli inventari nazionali dei gas serra (IPCC 2006) e il Capitolo 8 del quarto rapporto di valutazione del gruppo di lavoro III dell'IPCC (Smith, et al.,2007) per opzioni di mitigazione specifiche non coperte dalle Linee guida.

EX-ACT è un sistema di calcolo basato sul cambio di uso del suolo, che è in grado di calcolare l'emissione dei gas ad effetto serra espresso in tonnellate di CO₂ equivalente (tCO₂-e). Tale strumento consiste in un insieme di fogli Excel (moduli) che coprono diverse aree di attività del settore agricolo, forestale e di cambio di uso del suolo. Permette di specificare le informazioni relative alle variabili geografiche, climatiche e agroecologiche e un insieme più ampio di informazioni sulle attività di cambio di uso del suolo e di pratiche di gestione agricola.

I moduli a disposizione sono:

1. “Description”: Descrizione generale del progetto (area geografica, caratteristiche climatiche e della terra, durata del progetto)
2. “LUC” (Land-Use Changes): Cambio di uso del suolo (deforestazione, imboschimento/rimboschimento, cambio non forestale nell'uso del suolo)

3. “Cropland”: Produzione e gestione delle coltivazioni (pratiche agronomiche, pratiche di lavorazione del terreno, gestione delle risorse idriche e dei nutrienti, applicazione di concime)
4. “Grassland”: Pascoli e bestiame (pratiche di gestione dei pascoli, pratiche di alimentazione del bestiame)
5. “Management”: Degrado dei boschi, impatto degli incendi
6. “Inland wetlands”: Zone umide interne (cambiamento dell'uso del suolo su suolo organico, gestione del territorio su suolo organico, estrazione della torba, specchi d'acqua interni)
7. “Coastal wetlands”: Zone umide costiere (gestione delle mangrovie, drenaggio, rivegetazione)
8. “Fisheries and aquaculture”: Pesca e acquacoltura
9. “Inputs”: Fattori di produzione agricoli e investimenti aggiuntivi (uso di fertilizzanti e agrochimici, consumo di carburante, consumo di elettricità, creazione di infrastrutture)
10. “Results”: Risultati dei calcoli

Per il presente studio sono stati utilizzati un numero limitato di moduli, ovvero quelli relativi al cambio di uso del suolo e alle coltivazioni (moduli 2 e 3) oltre al modulo per la descrizione generale del progetto (modulo 1).

Lo strumento EX-ACT permette di comparare gli impatti di un cambiamento con lo scenario “business as usual” (scenario di base). È dunque, nella logica base di EX-ACT che si richiedono dati per quanto riguarda tre distinti momenti:

- La situazione iniziale
- Lo scenario con progetto
- Lo scenario senza progetto (business as usual)

La figura che segue illustra questa differenziazione essenziale che è cruciale per la corretta comprensione e applicazione di EX-ACT (Figura 1).

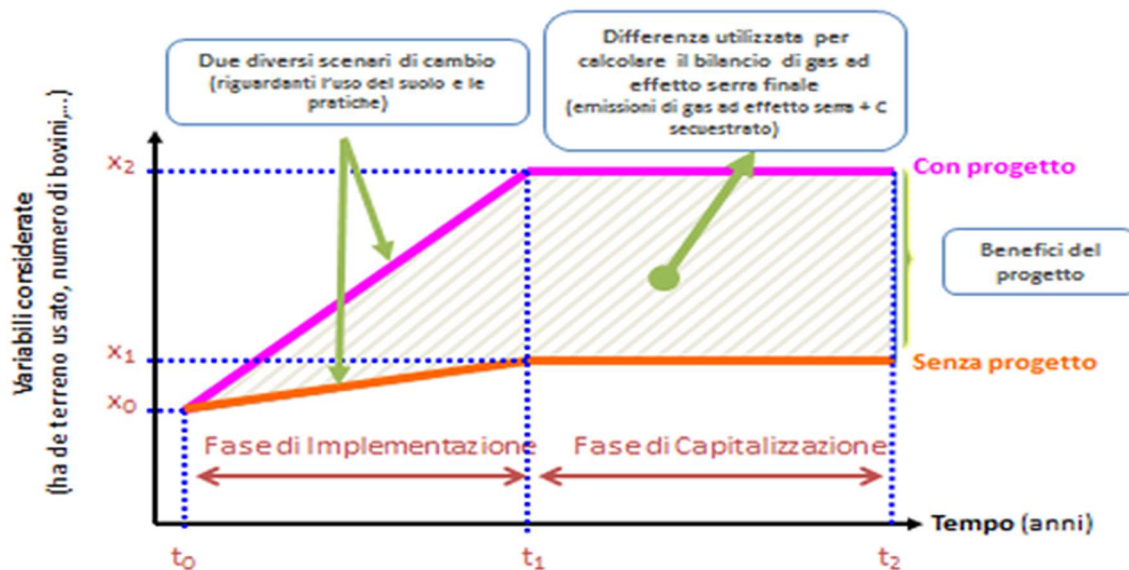


FIGURA 1: CREAZIONE DI SCENARI DI SVILUPPO PER L'USO DI EX-ACT. FONTE: "AAUIDA_RAPIDA-ITALIAN_VERSION.PDF"

Nel grafico di Figura 1 abbiamo il tempo sull'asse delle ascisse e il valore della variabile considerata sull'asse delle ordinate (per esempio gli ettari di foresta tagliati). "X₀" si riferisce alla situazione iniziale nell'area del progetto e da questo punto partono n.2 linee che rappresentano, una lo scenario con progetto e l'altra lo scenario senza progetto che in pratica consiste nello scenario "business as usual". EX-ACT differenzia due periodi di tempo: la fase di implementazione che definisce il periodo di tempo nel quale le attività dei progetti attivi si realizzano e dura da t₀ a t₁ e la fase di capitalizzazione che dura da t₁ a t₂ in cui si ottiene un nuovo equilibrio nell'uso del suolo e nelle pratiche e si possono produrre dei cambi che sono causati dall'intervento del progetto. La differenza nei dati delle attività tra scenario "con" e "senza progetto" serve poi come inserimento dati per il calcolo del bilancio del carbonio del progetto.

Tramite lo strumento EX-ACT è stato possibile utilizzare i dati risultati dalle elaborazioni precedenti come dati di input per simulare differenti scenari futuri per il cambiamento di uso del suolo nelle foreste del Borneo.

Prima di tutto sono state impostate le caratteristiche generali della modellizzazione nella sezione 1.2 "Project site and duration" del modulo 1 (DESCRIPTION) del foglio di calcolo. Questi dati sono stati inseriti uguali per tutti e n.3 gli scenari futuri e consistono nel luogo, nelle caratteristiche del clima e del suolo e nella durata del "progetto" (Figura 2).

1.2 Project site and duration		
Continent	South-eastern Asia	
Country	Indonesia	
Climate	Tropical	
Moisture	Wet	
Soil type	Low activity clay soils	
Project duration (in years)	Implementation Phase	30
	Capitalization Phase	
Total Duration of Accounting		30

FIGURA 2: INSERIMENTO DATI SEZIONE 1.2 MODULO 1. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

Successivamente è stata stabilita una corrispondenza tra le macrocategorie considerate nella prima parte dello studio e le categorie di uso del suolo selezionabili nel foglio di calcolo. Tale corrispondenza è riportata nella tabella di seguito (Tabella 2).

TABELLA 2: CORRISPONDENZA MACROCATEGORIE UTILIZZATE NEL DATA BASE DI EARTH MAP CON CATEGORIE DI USO DEL SUOLO DISPONIBILI SU EX-ACT

MACROCATEGORIA “EARTH MAP”	CATEGORIA USO SUOLO EX-ACT
Terreni coltivati	Annual cropland
Aree a mosaico	Agroforestry
Copertura arborea	Tropical rainforest
Vegetazione rada	Degraded land
Aree urbane	Other land (non-vegetated)

Di seguito vengono riportate le definizioni delle categorie di uso del suolo tratte dal foglio di calcolo EX-ACT:

“ANNUAL CROPLAND”: Piante che completano il loro intero ciclo di vita, dal seme al fiore al seme, in una singola stagione di crescita. Tutte le radici, gli steli e le foglie della pianta muoiono annualmente. Solo il seme dormiente colma il divario tra una generazione e la successiva. In questa categoria sono incluse anche specie pluriennali selezionate e non legnose (ad esempio la canna da zucchero) ogni volta che la loro crescita implica un ciclo di raccolta per l'intera pianta.

“PERENNIAL CROPLAND (AGROFORESTRY)”: Include piante e altre specie legnose che persistono per molte stagioni di crescita. In genere la parte superiore della pianta muore ogni inverno e ricresce la primavera successiva dallo stesso apparato radicale.

“FOREST LAND”: un'area minima di terreno di 0,05-1,0 ettari con copertura della chioma arborea (o livello di stoccaggio equivalente) superiore al 10-30% con il potenziale di raggiungere un'altezza minima di 2-5 metri a maturità in situ. Comprende diverse specie arboree di diverse classi di età, distanziate in modo irregolare e in base alle loro esigenze di sviluppo.

“DEGRADED LAND”: I terreni degradati sono quelli la cui vegetazione nativa è stata pesantemente disturbata. Il terreno ha livelli di biomassa e carbonio organico del suolo fortemente degradati.

“OTHER LAND”: Tutti i terreni edificabili, vale a dire infrastrutture residenziali, di trasporto, commerciali e produttive di qualsiasi dimensione, a meno che non siano già incluse in altre categorie di uso del suolo.

L'abbinamento tra queste categorie e quelle raggruppate nella prima parte di studio ha tenuto principalmente conto del tipo di copertura e del ciclo vegetativo. In particolare, le categorie “Terreni coltivati” e “Annual cropland” sono state abbinate considerando coperture erbacee e arbustive a ciclo annuale. Le categorie “Aree a mosaico” e “Agroforestry” sono state abbinate considerando coperture arboree perenni che persistono per molte stagioni con percentuali di copertura omogenea anche elevate come nel caso specifico delle piantagioni di palma da olio. Le altre categorie “Copertura arborea” e “Forest land” e “Aree urbane” e “Other land” hanno una corrispondenza più univoca considerando nel primo caso le aree coperte interamente da foreste e nel secondo, coperte interamente da terreno non vegetale. Le categorie “Vegetazione rada” e “Degraded land” sono quelle che hanno una corrispondenza meno forte ma necessaria per l'utilizzo dello strumento EX-ACT.

3.3.1 SCENARIO 1: AVANTI CON LA DEFORESTAZIONE

In questo primo scenario si è voluto rappresentare un futuro in cui l'andamento della deforestazione visto dal 1992 al 2020 fosse continuato seguendo i trend calcolati in precedenza. Una volta decisa questa condizione sono stati confrontati i valori di estensione di ogni macrocategoria riferiti all'anno 2020 e all'anno 2050 ottenendo così gli ettari che subiranno un cambio di uso del suolo in questo periodo. La macrocategoria "Copertura arborea" subirà una riduzione di estensione a favore di tutte le altre che invece incrementeranno la loro estensione.

Come descritto in precedenza, per utilizzare il foglio di calcolo EX-ACT è necessario inserire i valori della situazione iniziale, i valori dello scenario con progetto e i valori dello scenario senza progetto. In questo particolare scenario è stato considerato come valore di partenza il numero di ettari deforestati. Nello scenario senza progetto è stato considerato che tale estensione non subirà modifiche, quindi come se non ci fossero variazioni di uso del suolo, mentre nello scenario con progetto sono stati inseriti i valori nei moduli corrispondenti del foglio di calcolo per simulare la perdita di copertura arborea a favore dell'incremento di altre macrocategorie di uso del suolo. In questo modo il valore del bilancio del carbonio restituito dal foglio di calcolo ha rappresentato solo le tonnellate di CO₂ equivalente emesse/sequestrate dalla variazione di uso del suolo riassunta nello scenario con progetto che corrisponde alle differenze di uso del suolo calcolate tra il 2020 e il 2050.

Per realizzare concretamente quanto sopra descritto, nel foglio di calcolo EX-ACT è stato utilizzato il modulo 2 (LUC), in particolare la parte relativa alla deforestazione (sezione 2.1), inserendo i valori relativi alle n.4 diverse macrocategorie che hanno incrementato la loro superficie a discapito della macrocategoria della Copertura arborea/Tropical rainforest. (Figura 3).

2.1 DEFORESTATION		If country-specific							
Type of vegetation that will be deforested	HWPs (tDM/ha)	Fire used? (y/n)	Final land-use after deforestation		Forested area (ha)				
			Land-use type	Agroforestry system	Start	Without	With	*	
Tropical rainforest	0	NO	Agroforestry	Oil palm	3.623.701	3.623.701	D	0	D
Tropical rainforest	0	NO	Annual cropland	Please select	3.083.317	3.083.317	D	0	D
Tropical rainforest	0	NO	Other land (non-vegetated)	Please select	277.404	277.404	D	0	D
Tropical rainforest	0	NO	Degraded land	Please select	1.812.164	1.812.164	D	0	D
Please select	0	NO	Please select	Please select	0	0	D	0	D
Please select	0	NO	Please select	Please select	0	0	D	0	D
Please select	0	NO	Please select	Please select	0	0	D	0	D
Please select	0	NO	Please select	Please select	0	0	D	0	D

FIGURA 3: INSERIMENTO DATI SEZIONE 2.1 MODULO 2. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

È stato utilizzato anche il modulo 3 (CROPLAND) in cui vengono trattate separatamente le colture annuali (sezione 3.1.1) (Figura 4) da quelle perenni (sezione 3.2.1) (Figura 5). In

queste sezioni è stato possibile tenere in considerazione i diversi tipi di gestione dei suoli e considerare gli impatti di questi sulle emissioni.

Da tenere in considerazione che nel presente studio è stato considerato che il cambio di uso del suolo da foresta a Aree a mosaico/Agroforestry abbia avuto come risultato il passaggio da foresta a sole piantagioni di palma da olio.

3.1. ANNUAL CROPPING SYSTEMS (to be used also for pluri-annual systems such as cotton or sugarcane)							If country-specific data are available, please provide them		
3.1.1. Annual cropping systems from other LU or converted to other LU									
Description	Main season crop	Management options for annual cropping systems				Yield (t/ha/yr)	Area (ha)		
		Tillage management	Input of organic material	Residue management	Start		Without	With	
Annuals after deforestation	Default	Reduced tillage	Low C input	Retained		0	0	3.083.317	
Annuals converted to forest land	Default	Please select	Please select	Please select		0	0	0	
Annuals converted from non-forest LUs	Default	Please select	Please select	Please select		0	0	0	
Annuals converted to non-forest LUs	Default	Please select	Please select	Please select		0	0	0	

FIGURA 4: INSERIMENTO DATI SEZIONE 3.1.1 MODULO 3. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

3.2. PERENNIAL CROPPING SYSTEMS (e.g. agroforestry, orchards, tree crops etc.)							If country-specific data are available, please provide them		
3.2.1. Perennial systems from other LU or converted to other LU									
Description	Agroforestry systems	Management options for perennial cropping systems				Yield (t/ha/yr)	Area (ha)		
		Tillage management	Input of organic material	Residue/Biomass burning	Start		Without	With	
Perennials after deforestation	Oil palm	Reduced tillage	Low C input	YES		0	0	3.623.701	
Perennials converted to forest land	Please select	Please select	Please select	NO		0	0	0	
Perennials converted from other LUs	Please select	Please select	Please select	NO		0	0	0	
Perennials converted to other LUs	Please select	Please select	Please select	NO		0	0	0	

FIGURA 5: INSERIMENTO DATI SEZIONE 3.2.1 MODULO 3. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

3.3.2 SCENARIO 2: STOP DEFORESTAZIONE

In questo secondo scenario si è voluto rappresentare un futuro in cui la deforestazione viene fermata e l'estensione della copertura arborea resta uguale per i prossimi 30 anni. I cambi di uso del suolo per le altre macrocategorie vanno a discapito della macrocategoria "Aree a mosaico/Agroforestry" che anche per questa modellizzazione è stata considerata interamente come costituita da sole piantagioni di palma da olio.

La riduzione di estensione della macrocategoria "Aree a mosaico/Agroforestry" tra l'anno 2020 e 2050 ha rappresentato il valore iniziale di questo scenario. Questo valore è stato ricavato sommando lo sviluppo delle altre macrocategorie dal 2020 al 2050 basato sui trend calcolati nella prima parte dello studio, escludendo la Copertura arborea considerata "ferma" (stop deforestazione e no incremento). Nello scenario senza progetto è stato considerato che tale estensione non subirà modifiche, quindi come se non ci fossero variazioni di uso del suolo, mentre nello scenario con progetto sono stati inseriti i valori nei moduli corrispondenti del foglio di calcolo per simulare la perdita di piantagioni di palma da olio a favore dell'incremento di altre macrocategorie di uso del suolo.

Per realizzare concretamente quanto sopra descritto, nel foglio di calcolo EX-ACT è stato utilizzato il modulo 2 (LUC), in particolare la parte relativa al cambio di uso del suolo non partendo dalle foreste (sezione 2.3), inserendo i valori relativi alle n.3 diverse categorie che hanno incrementato la loro superficie a discapito della macrocategoria delle Aree a mosaico/Agroforestry considerata interamente come piantagioni di palma da olio. (Figura 6).

2.3 OTHER LAND-USE CHANGES					If country-specific	
User notes	Fire used? (y/n)	Initial land-use	Final land-use	Area of land-use change (ha)		
				Without	With	
	NO	Oil palm	Annual cropland	0	3.083.317	
	NO	Oil palm	Other land (non-vegetated)	0	277.404	
	NO	Oil palm	Degraded land	0	1.812.164	
	NO	Please select	Please select	0	0	

FIGURA 6: INSERIMENTO DATI SEZIONE 2.3 MODULO 2. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

Come per lo scenario 1 è stato utilizzato anche il modulo 3 (CROPLAND) sia per le colture annuali (Figura 7) sia per quelle perenni (Figura 8) per tener conto dell'impatto sulle emissioni di CO₂ legato ai diversi tipi di gestione del suolo delle nuove colture annuali, ricavate convertendo le piantagioni di palma da olio, e la mancata gestione dei suoli delle piantagioni convertite.

3.1. ANNUAL CROPPING SYSTEMS (to be used also for pluri-annual systems such as cotton or sugarcane)							If country-specific data are available		
3.1.1. Annual cropping systems from other LU or converted to other LU									
Description	Main season crop	Management options for annual cropping systems				Yield (t/ha/yr)	Area (ha)		
		Tillage management	Input of organic material	Residue management			Start	Without	With
Annuals after deforestation	Default	Please select	Please select	Please select	Please select		0	0	0
Annuals converted to forest land	Default	Please select	Please select	Please select	Please select		0	0	0
Annuals converted from non-forest LUs	Default	Reduced tillage	Low C input	Burned			0	0	3,083,317
Annuals converted to non-forest LUs	Default	Please select	Please select	Please select			0	0	0

FIGURA 7: INSERIMENTO DATI SEZIONE 3.1.1 MODULO 3. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

3.2. PERENNIAL CROPPING SYSTEMS (e.g. agroforestry, orchards, tree crops etc.)							If country-specific data are available		
3.2.1. Perennial systems from other LU or converted to other LU									
Description	Agroforestry systems	Management options for perennial cropping systems				Yield (t/ha/yr)	Area (ha)		
		Tillage management	Input of organic material	Residue/Biomass burning			Start	Without	With
Perennials after deforestation	Please select	Please select	Please select	NO			0	0	0
Perennials converted to forest land	Please select	Please select	Please select	NO			0	0	0
Perennials converted from other LUs	Please select	Please select	Please select	NO			0	0	0
Perennials converted to other LUs	Oil palm	Reduced tillage	Low C input	YES			5,172,885	5,172,885	0

FIGURA 8: INSERIMENTO DATI SEZIONE 3.2.1 MODULO 3. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

3.3.3 SCENARIO 3: STOP DEFORESTAZIONE E RIFORMAZIONE ATTIVA

In questo ultimo scenario si è voluto rappresentare un futuro in cui ancora la deforestazione viene fermata ma l'estensione della copertura arborea invece di restare uguale per i prossimi 30 anni aumenta fino a tornare come ai livelli dell'anno 1992. I cambi di uso del suolo per le altre macrocategorie vanno a discapito della macrocategoria "Aree a mosaico/Agroforestry" che anche per questa modellizzazione è stata considerata interamente come costituita da sole piantagioni di palma da olio.

Il valore iniziale considerato per questo scenario è il numero di ettari di piantagioni di palma da olio convertito in altri usi del suolo nello scenario con progetto che invece restano tali nello scenario senza progetto. Questo valore iniziale è stato calcolato partendo dall'ipotesi che l'estensione della macrocategoria "Copertura arborea/Tropical rainforest" nel 2050 arrivi al valore che aveva nel 1992 mentre le altre macrocategorie in espansione seguissero i trend calcolati nella prima parte dello studio. La macrocategoria in riduzione è stata sempre considerata "Aree a mosaico/Agroforestry" e in particolare la sottocategoria delle piantagioni di palma da olio.

Per realizzare concretamente quanto sopra descritto, nel foglio di calcolo EX-ACT è stato utilizzato il modulo 2 (LUC), in particolare la parte relativa alla riforestazione (sezione 2.2) (Figura 9) e la parte relativa al cambio di uso del suolo non partendo dalle foreste (sezione 2.3) (Figura 10).

2.2 AFFORESTATION & REFORESTATION				If country-specific		
Final land-use	Fire used? (y/n)	Initial land-use	Initial agroforestry systems	Reforested area (ha)		
				Without	With	
Tropical rainforest	NO	Agroforestry	Oil palm	0	4.946.253	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0
Please select	NO	Please select	Please select	0	0	0

FIGURA 9: INSERIMENTO DATI SEZIONE 2.2 MODULO 2. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

2.3 OTHER LAND-USE CHANGES				If country-specific data		
User notes	Fire used? (y/n)	Initial land-use	Final land-use	Area of land-use change (ha)		
				Without	With	
	NO	Oil palm	Annual cropland	0	3.083.317	0
	NO	Oil palm	Other land (non-vegetated)	0	277.404	0
	NO	Oil palm	Degraded land	0	1812.164	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0
	NO	Please select	Please select	0	0	0

FIGURA 10: INSERIMENTO DATI SEZIONE 2.3 MODULO 2. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

Come per gli scenari precedenti è stato utilizzato anche il modulo 3 (CROPLAND) sia per le colture annuali (Figura 11) sia per quelle perenni (Figura 12) sempre per tener conto dell’impatto sulle emissioni di CO₂ legato ai diversi tipi di gestione del suolo delle nuove colture annuali e delle nuove aree a foresta, ricavate convertendo le piantagioni di palma da olio, e la mancata gestione dei suoli delle piantagioni convertite.

3.1. ANNUAL CROPPING SYSTEMS (to be used also for pluri-annual systems such as cotton or sugarcane)							If country-specific data are available.		
3.1.1. Annual cropping systems from other LU or converted to other LU									
Description	Main season crop	Management options for annual cropping systems				Yield (t/ha/yr)	Area (ha)		
		Tillage management ?	Input of organic material ?	Residue management ?	Start		Without	With	
Annuals after deforestation	Default	Please select	Please select	Please select		0	0	0	
Annuals converted to forest land	Default	Please select	Please select	Please select		0	0	0	
Annuals converted from non-forest LUs	Default	Reduced tillage	Low C input	Burned		0	0	3,083.317	
Annuals converted to non-forest LUs	Default	Please select	Please select	Please select		0	0	0	

FIGURA 11: INSERIMENTO DATI SEZIONE 3.2.1 MODULO 3. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

3.2. PERENNIAL CROPPING SYSTEMS (e.g. agroforestry, orchards, tree crops etc.)							If country-specific data are available.		
3.2.1. Perennial systems from other LU or converted to other LU									
Description	Agroforestry systems	Management options for perennial cropping systems				Yield (t/ha/yr)	Area (ha)		
		Tillage management	Input of organic material ?	Residue/ Biomass burning	Start		Without	With	
Perennials after deforestation	Please select	Please select	Please select	NO		0	0	0	
Perennials converted to forest land	Oil palm	Reduced tillage	Low C input	YES		4,946.253	4,946.253	0	
Perennials converted from other LUs	Please select	Please select	Please select	NO		0	0	0	
Perennials converted to other LUs	Oil palm	Reduced tillage	Low C input	YES		5,172.885	5,172.885	0	

FIGURA 12: INSERIMENTO DATI SEZIONE 3.2.1 MODULO 3. FONTE: FOGLIO DI CALCOLO EX-ACT.

4 RISULTATI

4.1 TERRENI COLTIVATI

Nel 1992 i terreni coltivati in Borneo avevano un'estensione totale di 2,34 Mha, nel 2050, secondo l'elaborazione dati eseguita, i terreni coltivati avranno un'estensione di 6,55 Mha, quindi un incremento della superficie coltivata del 5,69% se rapportata alla superficie totale del Borneo.

Negli ultimi 30 anni l'aumento più significativo si è registrato nel territorio del Borneo indonesiano con un incremento di 0,84 Mha, +1,58% rapportato al totale della sua superficie, seguito dai territori del Borneo malese con 0,24 Mha (+1,43%) e Brunei Darussalam in cui la tendenza è invece opposta con una leggera riduzione dei terreni coltivati pari a 4.195 ha (-0,71%).

I precedenti dati sono riportati nei n.2 seguenti grafici (Figure 13 e 14) e riassunti nella Tabella 3.

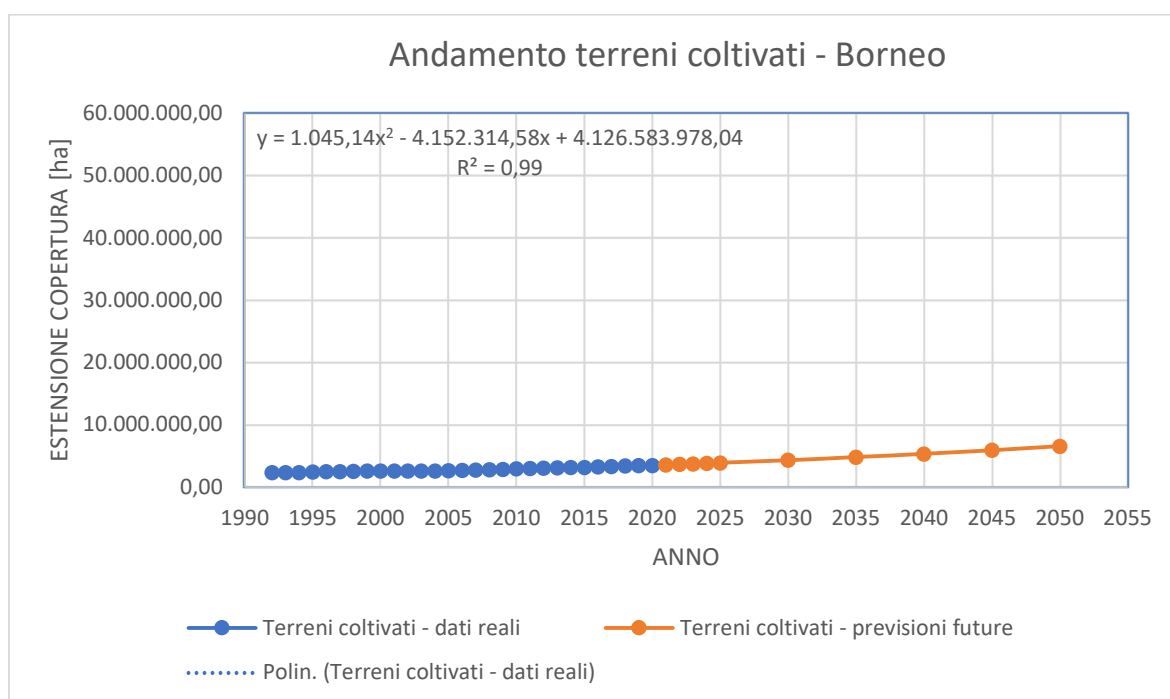


FIGURA 13: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DEI TERRENI COLTIVATI IN BORNEO DAL 1992 AL 2050.
FONTE: ELABORAZIONE DATI

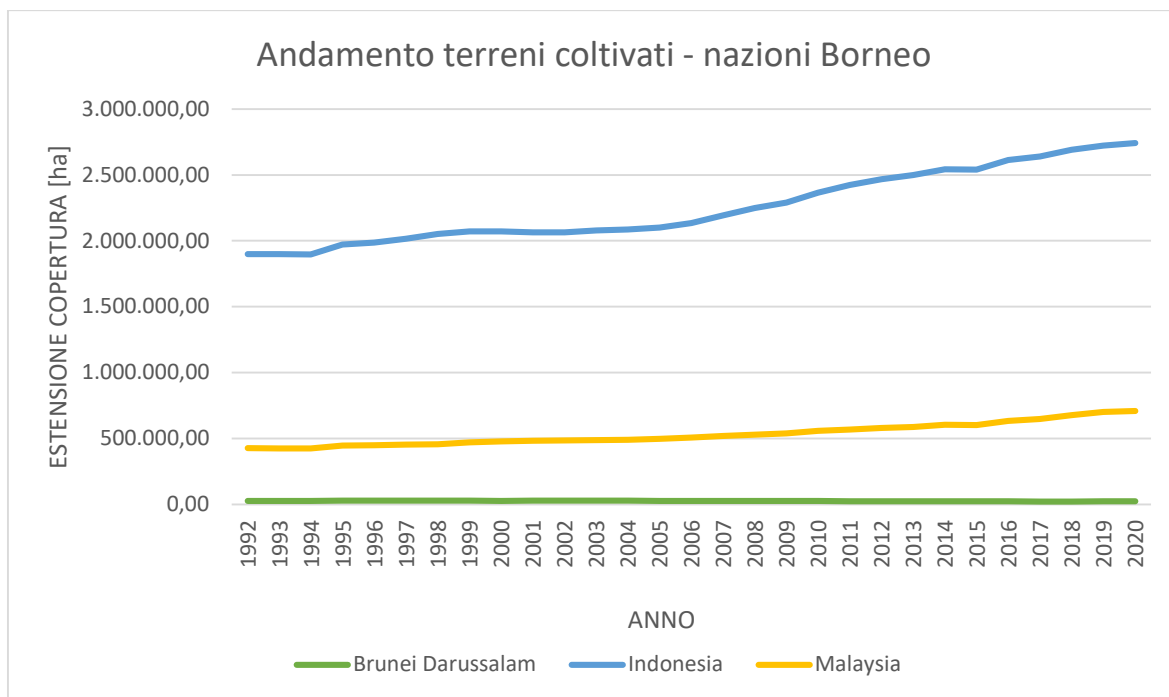


FIGURA 14: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DEI TERRENI COLTIVATI NELLE N.3 NAZIONI DEL BORNEO DAL 1992 AL 2020. FONTE: ELABORAZIONE DATI

TABELLA 3: VARIAZIONE IN ETTARI E PERCENTUALE (RIFERITA ALLA SUPERFICIE TOTALE DEL BORNEO) DELL'ESTENSIONE DEI TERRENI COLTIVATI IN BORNEO E NELLE SUE NAZIONI. FONTE: ELABORAZIONE DATI

		Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia	Borneo
1992-2020	[ha]	-4.195	844.596	283.338	1.123.739
1992-2020	[%]	-0,71%	1,58%	1,43%	1,52%
1992-2050	[ha]				4.207.057
1992-2050	[%]				5,69%

4.2 AREE A MOSAICO

Nel 1992 le aree a mosaico in Borneo avevano un'estensione totale di 17,31 Mha, nel 2050, secondo l'elaborazione dati eseguita, le aree a mosaico avranno un'estensione di 24,21 Mha, quindi un incremento della superficie del 9,32% se rapportata alla superficie totale del Borneo.

Negli ultimi 30 anni l'aumento più significativo si è registrato nel territorio del Borneo indonesiano con un incremento di 2,46 Mha, +4,59% rapportato al totale della sua superficie, seguito dai territori del Borneo malese con 0,82 Mha (+4,14%) e Brunei Darussalam in cui la tendenza è invece opposta con una leggera riduzione delle aree a Mosaico pari a 6.753 ha (-1,14%).

I precedenti dati sono riportati nei n.2 seguenti grafici (Figure 15 e 16) e riassunti nella Tabella 4.

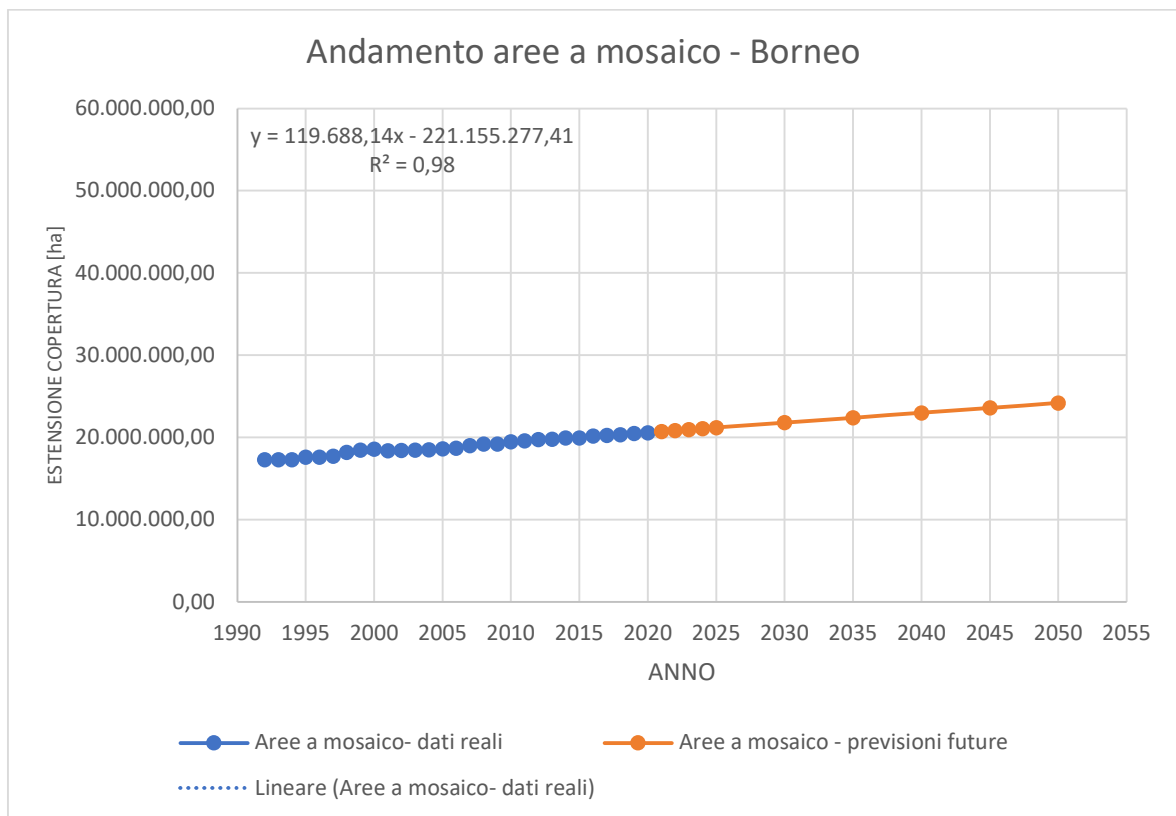


FIGURA 15: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLE AREE A MOSAICO IN BORNEO DAL 1992 AL 2050. FONTE: ELABORAZIONE DATI

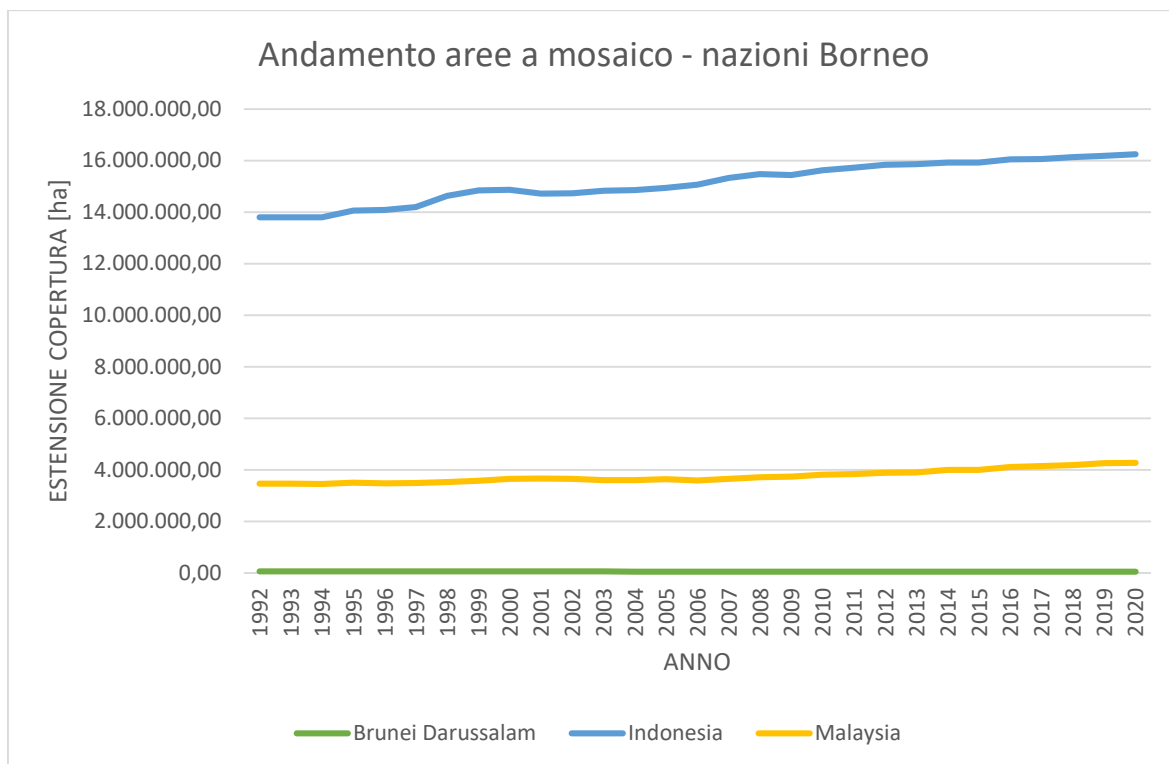


FIGURA 16: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLE AREE A MOSAICO NELLE N.3 NAZIONI DEL BORNEO DAL 1992 AL 2020. FONTE: ELABORAZIONE DATI

TABELLA 4: VARIAZIONE IN ETTARI E PERCENTUALE (RIFERITA ALLA SUPERFICIE TOTALE DEL BORNEO) DELL'ESTENSIONE DELLE AREE A MOSAICO IN BORNEO E NELLE SUE NAZIONI. FONTE: ELABORAZIONE DATI

		Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia	Borneo
1992-2020	[ha]	-6.753,48	2.458.099,12	820.093,71	3.271.439,35
1992-2020	[%]	-1,14%	4,59%	4,14%	4,42%
1992-2050	[ha]				6.895.141,09
1992-2050	[%]				9,32%

4.3 COPERTURA ARBOREA

Nel 1992 le aree ricoperte da alberi in Borneo avevano un'estensione totale di 52,91 Mha, nel 2050, secondo l'elaborazione dati eseguita, le aree ricoperte da alberi avranno un'estensione di 38,93 Mha, quindi una riduzione della superficie del 18,91% se rapportata alla superficie totale del Borneo.

Negli ultimi 30 anni, nella totalità del territorio del Borneo, la diminuzione è stata di 4,95 Mha per una percentuale del -6,69%, che diventa -9,35% se rapportata al valore dell'estensione delle foreste nel 1992. Le variazioni annue sono risultate altalenanti ma volendo calcolare un tasso medio di deforestazione annuo è stata considerata la percentuale riferita ai valori del 1992 ed è stato ottenuto un tasso pari a 0,32% annuo.

La diminuzione più significativa si è registrata nel territorio del Borneo indonesiano con una riduzione di 3,71 Mha, -6,93% rapportato al totale della sua superficie, seguito dai territori del Borneo malese con 1,24 Mha (-6,27%) e Brunei Darussalam in cui la tendenza è invece opposta con un leggero aumento delle aree coperte da alberi pari a 3.928 ha (+0,67%).

I precedenti dati sono riportati nei n.2 seguenti grafici (Figure 17 e 18) e riassunti nella Tabella 5.

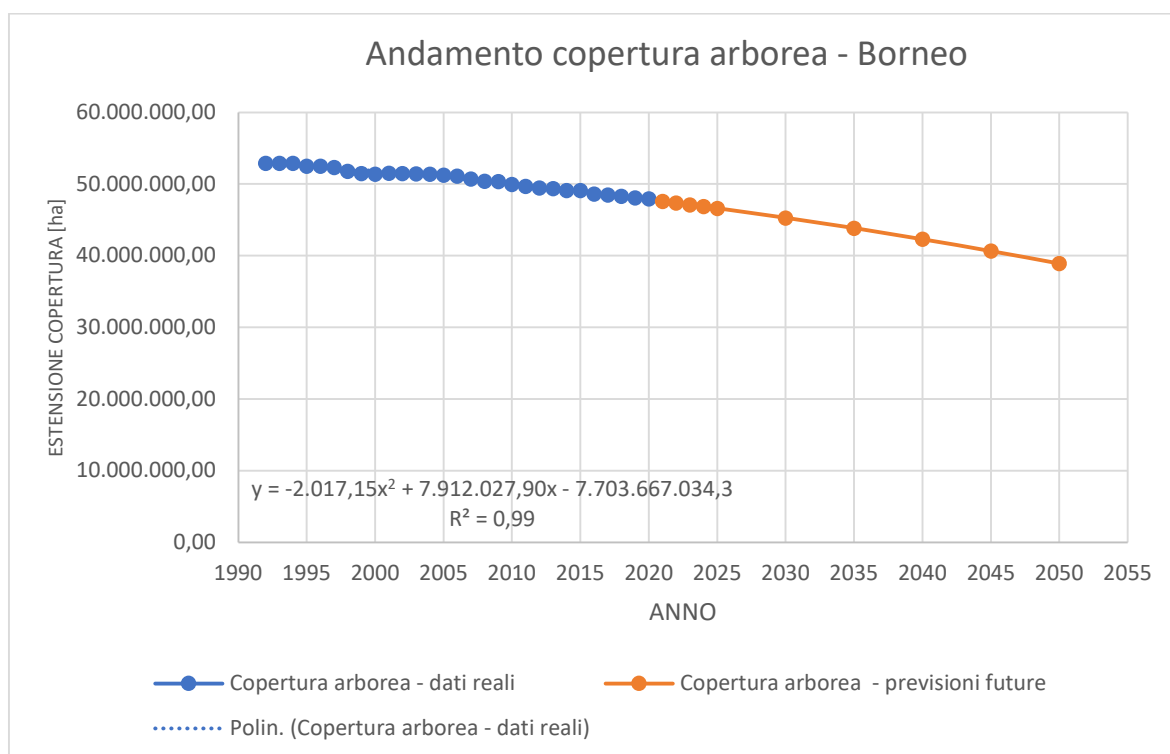


FIGURA 17: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLA COPERTURA ARBOREA IN BORNEO DAL 1992 AL 2050. FONTE: ELABORAZIONE DATI

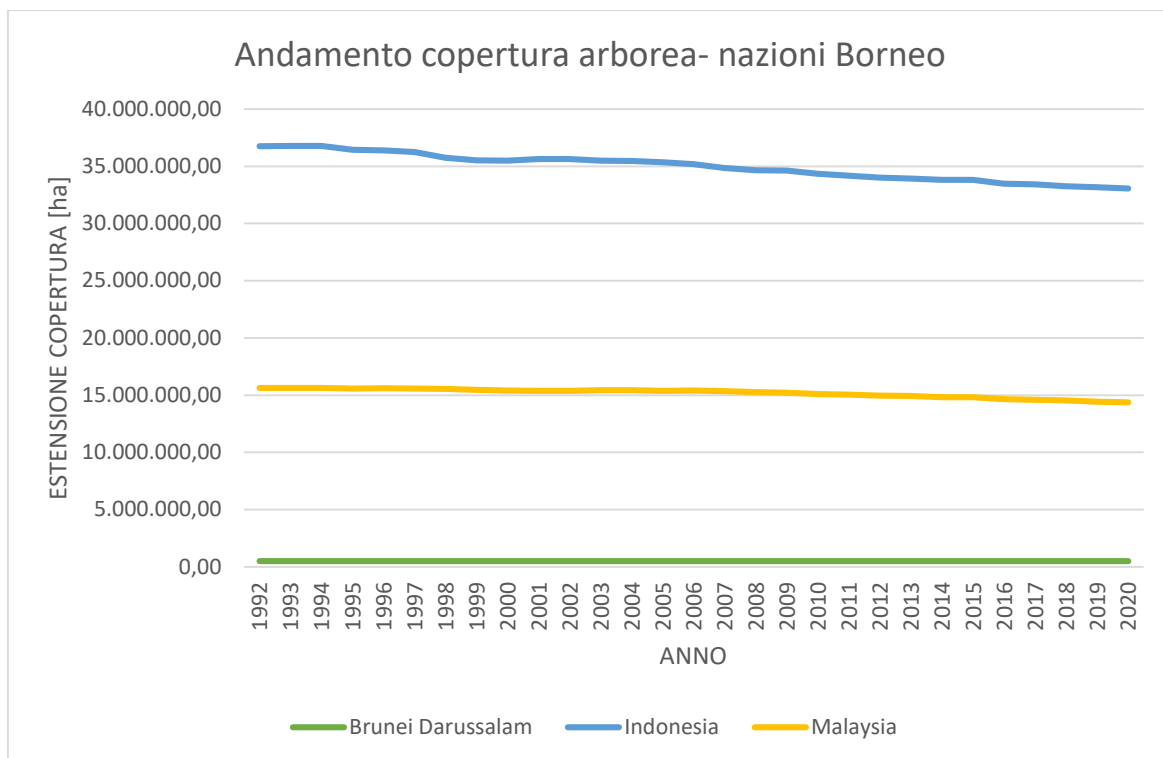


FIGURA 18: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLA COPERTURA ARBOREA NELLE N.3 NAZIONI DEL BORNEO. FONTE: ELABORAZIONE DATI

TABELLA 5: VARIAZIONE IN ETTARI E PERCENTUALE (RIFERITA ALLA SUPERFICIE TOTALE DEL BORNEO) DELL'ESTENSIONE DELLA COPERTURA ARBOREA IN BORNEO E NELLE SUE NAZIONI. FONTE: ELABORAZIONE DATI

		Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia	Borneo
1992-2020	[ha]	3.928,96	-3.711.090,73	-1.240.915,43	-4.948.077,20
1992-2020	[%]	0,67%	-6,93%	-6,27%	-6,69%
1992-2050	[ha]				-13.981.503,99
1992-2050	[%]				-18,91%

4.4 VEGETAZIONE RADA

Nel 1992 le aree ricoperte da vegetazione rada in Borneo avevano un'estensione totale di 0,36 Mha, nel 2050, secondo l'elaborazione dati eseguita, le aree ricoperte da vegetazione rada avranno un'estensione di 2,57 Mha, quindi un incremento della superficie del 2,99% se rapportata alla superficie totale del Borneo.

Negli ultimi 30 anni l'aumento più significativo si è registrato nel territorio del Borneo indonesiano con un incremento di 0,36 Mha, +0,67% rapportato al totale della sua superficie, seguito dai territori del Borneo malese con 0,04 Mha (+0,2%) e del Brunei Darussalam con un piccolo aumento pari a 71,28 ha (+0,01%).

I precedenti dati sono riportati nei n.2 seguenti grafici (Figure 19 e 20) e riassunti nella Tabella 6.

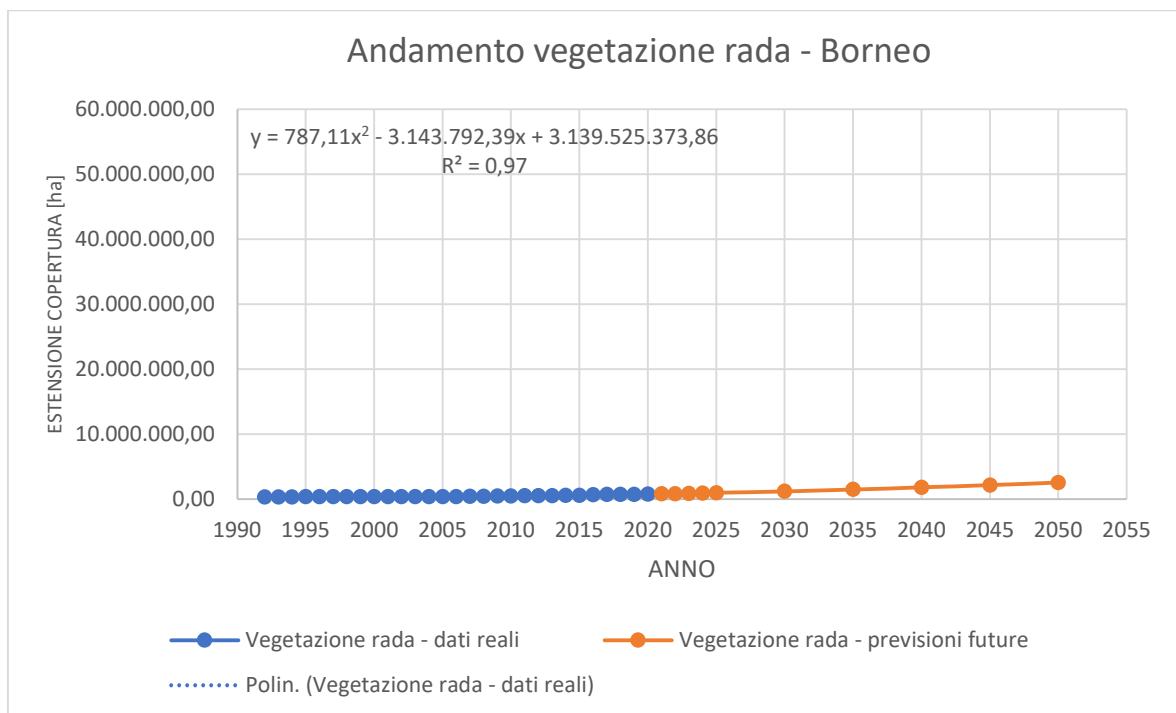


FIGURA 19: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLA VEGETAZIONE RADA IN BORNEO DAL 1992 AL 2050.
FONTE: ELABORAZIONE DATI

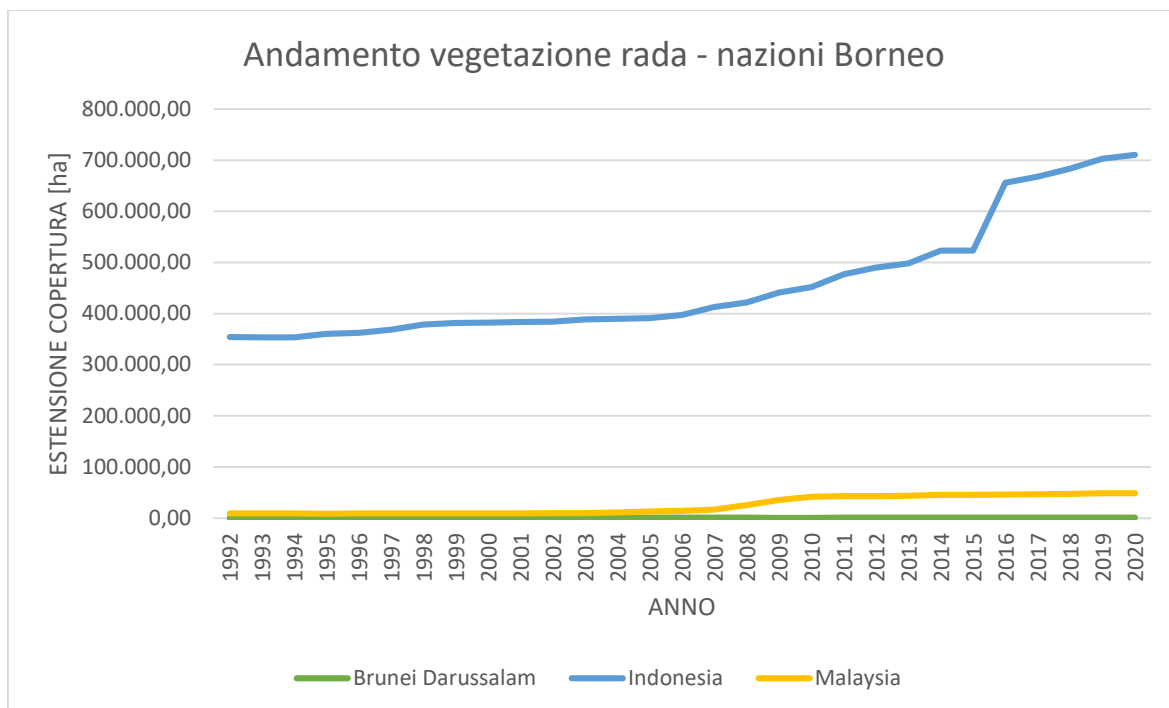


FIGURA 20: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLA VEGETAZIONE RADA NELLE N.3 NAZIONI DEL BORNEO DAL 1992 AL 2020. FONTE: ELABORAZIONE DATI

TABELLA 6: VARIAZIONE IN ETTARI E PERCENTUALE (RIFERITA ALLA SUPERFICIE TOTALE DEL BORNEO) DELL'ESTENSIONE DELLA VEGETAZIONE RADA IN BORNEO E NELLE SUE NAZIONI. FONTE: ELABORAZIONE DATI

		Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia	Borneo
1992-2020	[ha]	71,28	356.674,50	40.061,37	396.807,15
1992-2020	[%]	0,01%	0,67%	0,20%	0,54%
1992-2050	[ha]				2.208.971,15
1992-2050	[%]				2,99%

4.5 AREE URBANE

Nel 1992 le aree ricoperte da insediamenti urbani in Borneo avevano un'estensione totale di 70.667 ha, nel 2050, secondo l'elaborazione dati eseguita, le aree ricoperte da insediamenti urbani avranno un'estensione di 449,018 ha, quindi un incremento della superficie dello 0,51% se rapportata alla superficie totale del Borneo.

Negli ultimi 30 anni l'aumento più significativo si è registrato nel territorio del Borneo indonesiano con un incremento di 55.513 ha, +0,10% rapportato al totale della sua superficie, seguito dai territori del Borneo malese con 36.729 ha (+0,19%) e del Brunei Darussalam con un aumento pari a 8.703 ha (+1,48%).

I precedenti dati sono riportati nei n.2 seguenti grafici (Figure 21 e 22) e riassunti nella Tabella 7.

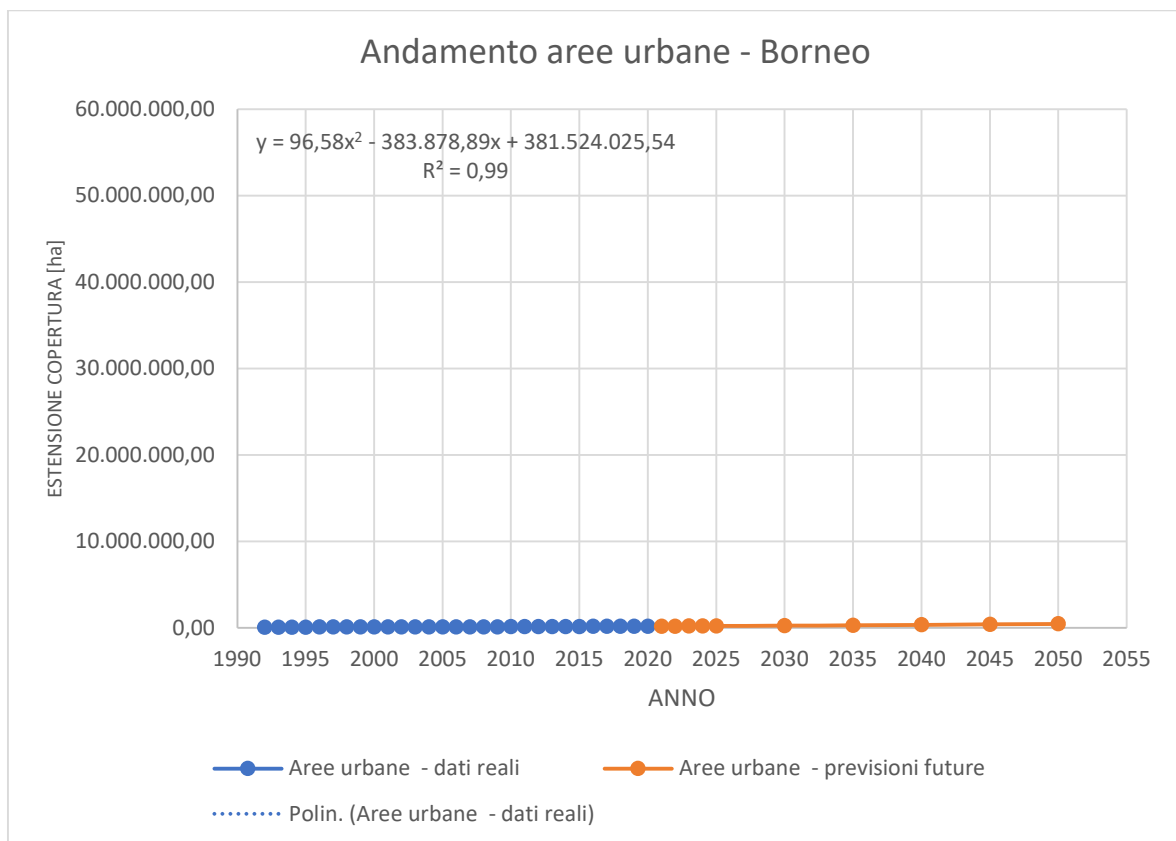


FIGURA 21: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLE AREE URBANE IN BORNEO DAL 1992 AL 2050. FONTE: ELABORAZIONE DATI

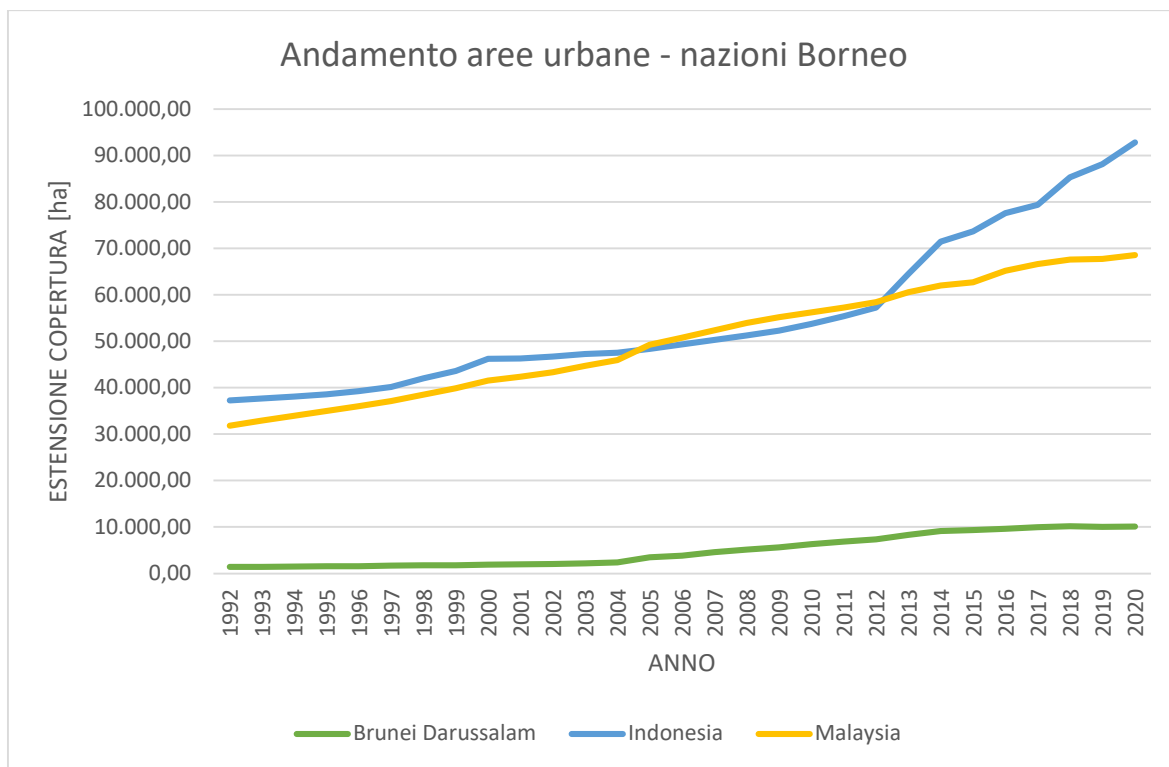


FIGURA 22: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLE AREE URBANE NELLE N.3 NAZIONI DEL BORNEO DAL 1992 AL 2020. FONTE: ELABORAZIONE DATI

TABELLA 7: VARIAZIONE IN ETTARI E PERCENTUALE (RIFERITA ALLA SUPERFICIE TOTALE DEL BORNEO) DELL'ESTENSIONE DELLE AREE URBANE IN BORNEO E NELLE SUE NAZIONI. FONTE: ELABORAZIONE DATI

		Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia	Borneo
1992-2020	[ha]	8.703,61	55.513,79	36.729,16	100.946,56
1992-2020	[%]	1,48%	0,10%	0,19%	0,14%
1992-2050	[ha]				378.351,47
1992-2050	[%]				0,51%

4.6 CAMBIO DI USO DEL SUOLO NELL'ISOLA DEL BORNEO

Nel Borneo, negli ultimi 30 anni, il cambio di uso del suolo ha visto diminuire la sola macrocategoria “Copertura arborea” (-6,69% della superficie totale) e l'aumento di tutte le altre, “Terreni coltivati” (+1,52%), “Aree a mosaico” (+4,42%), “Vegetazione rada” (+0,54%) e “Aree urbane” (+0,14%).

Analizzando i risultati relativi alle singole regioni/nazioni del Borneo è stato possibile vedere delle tendenze contrarie alla tendenza generale. Nel sultanato del Brunei, negli ultimi 30 anni, l'estensione della macrocategoria della “Copertura arborea” è aumentata (0,79%; 3.928 ha) e al contrario sono diminuite le estensioni relative alle macrocategorie di “Terreni coltivati” (-16,19%; -4.195 ha) e delle “Aree a mosaico” (-12,37%; -6.753 ha). Le “Aree urbane” hanno invece assistito ad un netto aumento, moltiplicando di circa 6 volte la loro estensione (596,71%; 8.703 ha). L'unica altra eccezione è risultata la regione malese del Sabah dove l'estensione della macrocategoria “Copertura arborea” è aumentata (1,79%; 95.832 ha) a discapito dei “Terreni coltivati” (-7,45%; 124.886 ha). In tutte le regioni indonesiane del Kalimantan e nella regione malese del Sarawak c'è stata una riduzione dell'estensione della macrocategoria “Copertura arborea”.

Di seguito vengono mostrati n.2 grafici a colonne che riassumono gli andamenti delle macrocategorie dal 1992 al 2020 sia del Borneo nella sua totalità (Figura 23), sia divisi per le singole regioni delle n.3 nazioni che compongono il Borneo (Figura 24). Nella tabella 8, di seguito, sono riportati i valori utilizzati per costruire il grafico di Figura 24.

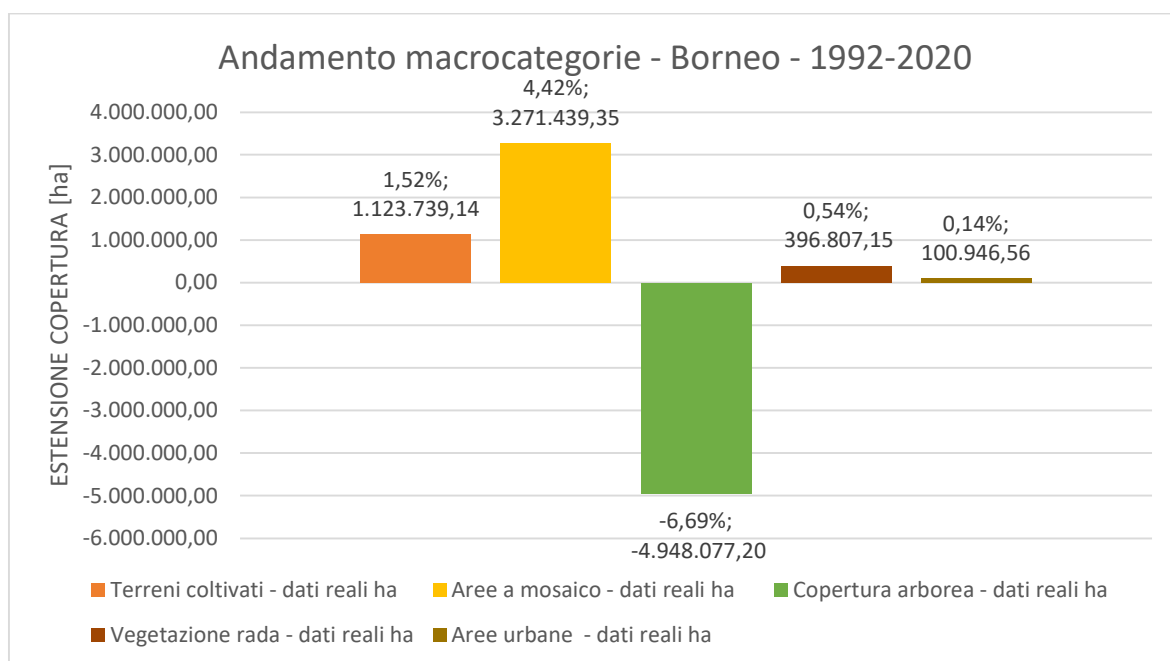


FIGURA 23: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLE MACROCATEGORIE DEL BORNEO NEL PERIODO 1992-2020 (PERCENTUALI RIFERITE ALLA TOTALE ESTENSIONE DEL BORNEO). FONTE: ELABORAZIONE DATI

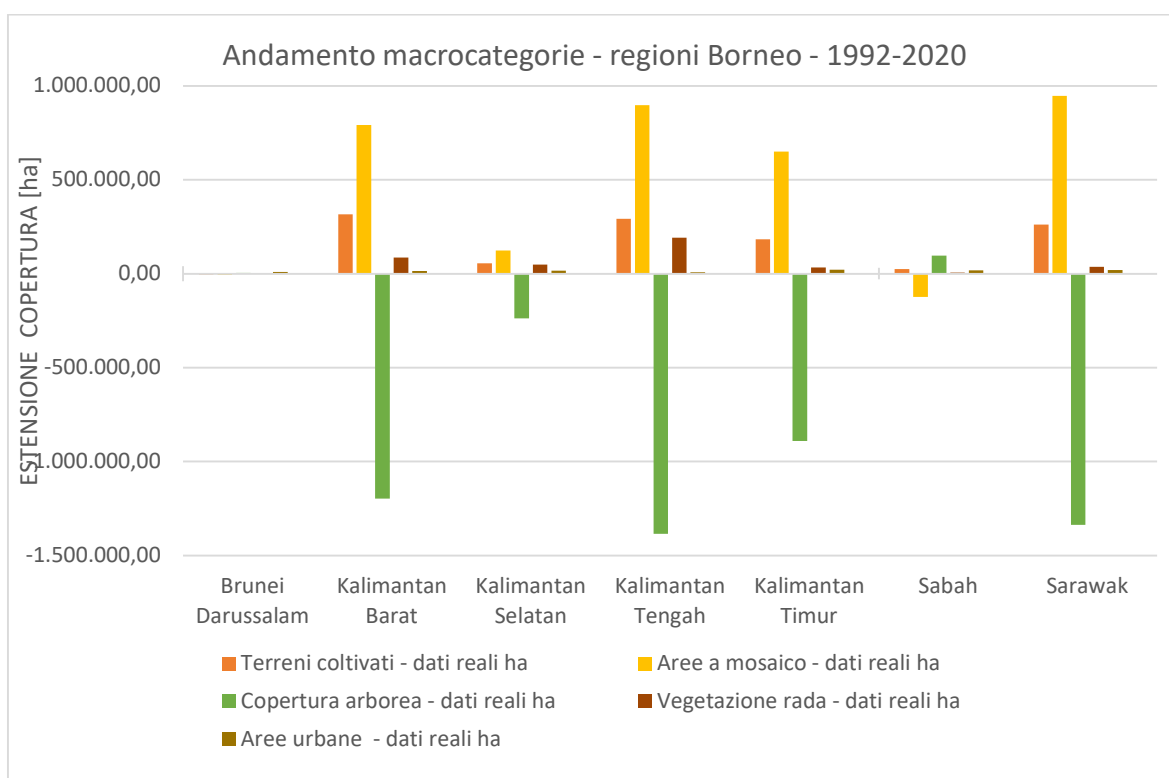


FIGURA 24: GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'ESTENSIONE DELLE MACROCATEGORIE PER OGNI REGIONE DEL BORNEO NEL PERIODO 1992-2020. FONTE: ELABORAZIONE DATI

TABELLA 8: VARIAZIONE IN ETTARI DI OGNI MACROCATEGORIA, DI OGNI REGIONE DEL BORNEO, NEL PERIODO TRA IL 1992 E IL 2020, TRA PARENTESI LA VARIAZIONE PERCENTUALE RIFERITA ALL'ESTENSIONE TOTALE DELLA REGIONE INTERESSATA. FONTE: ELABORAZIONE DATI

	Brunei Darussalam	Kalimantan Barat	Kalimantan Selatan	Kalimantan Tengah	Kalimantan Timur	Sabah	Sarawak
Terreni coltivati [ha]	-4.195 (-16,19%)	315.239 (57,95%)	55.492 (11,33%)	291.968 (70,92%)	181.897 (40,18%)	23.358 (8,92%)	259.980 (159,39%)
Aree a mosaico [ha]	-6.753 (-12,37%)	790.551 (15,23%)	122.396 (8,52%)	896.580 (26,81%)	648.573 (16,93%)	-124.886 (-7,45%)	944.980 (53,08%)
Copertura arborea [ha]	3.929 (0,79%)	-1.197.915 (-13,79%)	-238.387 (-14,27%)	-1.384.548 (-12,21%)	-890.240 (-5,91%)	95.832 (1,79%)	-1.336.747 (-12,98%)
Vegetazione rada [ha]	71 (17,02%)	85.862 (81,94%)	47.804 (77,35%)	191.164 (152,15%)	31.844 (51,66%)	4.451 (60,77%)	35.611 (2673,3%)
Aree urbane [ha]	8.704 (596,71%)	13.153 (81,79%)	16.072 (196,57%)	6.207 (110,65%)	20.082 (269,22%)	17.138 (97,90%)	19.591 (136,29%)

4.7 SCENARI

I risultati della prima parte di studio hanno poi portato ai valori di estensione delle macrocategorie che si avranno nell'anno 2050. Le differenze tra i valori al 2050 e al 2020 hanno fornito gli ettari che subiranno un cambio di uso del suolo, utilizzati poi come input per le modellizzazioni.

In tutti e 3 gli scenari è stato mantenuto invariato l'aumento di estensione delle macrocategorie "Terreni coltivati", "Vegetazione rada" e "Aree urbane", ricavate dall'analisi dei trend, perché considerate diretta conseguenza dello sviluppo socio-economico del territorio nei prossimi trent'anni. Le riduzioni di estensione sono state ipotizzate a discapito della foresta nel primo scenario e a discapito delle piantagioni di palma da olio per gli altri 2 scenari.

SCENARIO 1 – AVANTI CON LA DEFORESTAZIONE

Nella tabella di seguito riportata (Tabella 9) vengono mostrati i dati relativi al cambio di uso del suolo considerati per questo scenario e la figura 25 mostra in modo grafico gli stessi cambiamenti.

TABELLA 9: DATI INPUTI SCENARIO 1. FONTE: ELABORAZIONE DATI

CATEGORIE EARTH MAP	CATEGORIE EX-ACT	U.D.M.	2020	2050	2050-2020
Terreni coltivati	Annual cropland	[ha]	3.472.689	6.556.007	3.083.317
Aree a mosaico	Agroforestry	[ha]	20.581.709	24.205.411	3.623.701
Copertura arborea	Tropical rainforest	[ha]	47.960.294	38.926.867	-8.796.586
Vegetazione rada	Degraded land	[ha]	759.755	2.571.919	1.812.164
Aree urbane	Other land	[ha]	171.614	449.019	277.404

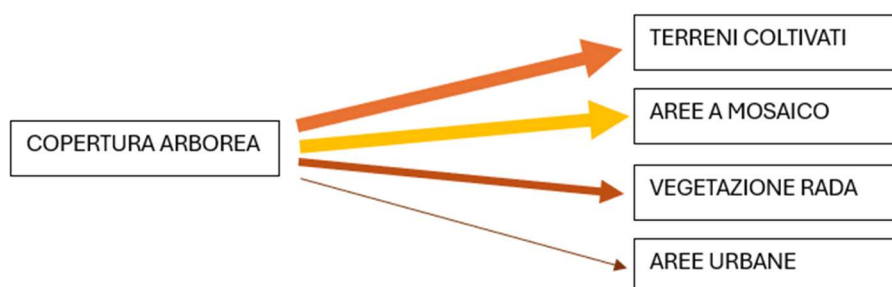


FIGURA 25: CAMBI DI USO DEL SUOLO SCENARIO 1. FONTE: ELABORAZIONE DATI

SCENARIO 2 – STOP DEFORESTAZIONE

Nella tabella di seguito riportata (Tabella 10) vengono mostrati i dati relativi al cambio di uso del suolo considerati per questo scenario e la figura 26 mostra in modo grafico gli stessi cambiamenti.

TABELLA 10: DATI INPUTI SCENARIO 2. FONTE: ELABORAZIONE DATI

CATEGORIE EARTH MAP	CATEGORIE EX-ACT	U.D.M.	2020	2050	2050-2020
Terreni coltivati	Annual cropland	[ha]	3.472.689,06	6.556.006,96	3.083.317
Aree a mosaico	Agroforestry	[ha]	20.581.709,15	15.171.984,10	-5.172.885
Copertura arborea	Tropical rainforest	[ha]	47.960.294,20	47.960.294,20	0
Vegetazione rada	Degraded land	[ha]	759.754,96	2.571.918,96	1.812.164
Aree urbane	Other land	[ha]	171.613,80	449.018,71	277.404

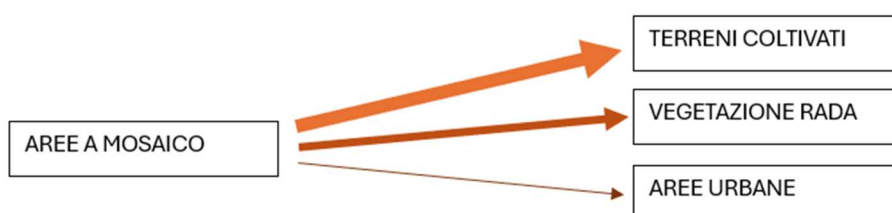


FIGURA 26: CAMBI DI USO DEL SUOLO SCENARIO 2. FONTE: ELABORAZIONE DATI

SCENARIO 3 – STOP DEFORESTAZIONE E RIFORESTAZIONE ATTIVA

Nella tabella di seguito riportata (Tabella 11) vengono mostrati i dati relativi al cambio di uso del suolo considerati per questo scenario e la figura 27 mostra in modo grafico gli stessi cambiamenti.

TABELLA 11: DATI INPUTI SCENARIO 3. FONTE: ELABORAZIONE DATI

CATEGORIE EARTH MAP	CATEGORIE EX-ACT	U.D.M.	2020	2050	2050-2020
Terreni coltivati	Annual cropland	[ha]	3.472.689,06	6.556.006,96	3.083.317
Aree a mosaico	Agroforestry	[ha]	20.581.709,15	11.932.768,09	-10.119.138
Copertura arborea	Tropical rainforest	[ha]	47.960.294,20	52.906.547,78	4.946.253
Vegetazione rada	Degraded land	[ha]	759.754,96	2.571.918,96	1.812.164
Aree urbane	Other land	[ha]	171.613,80	449.018,71	277.404

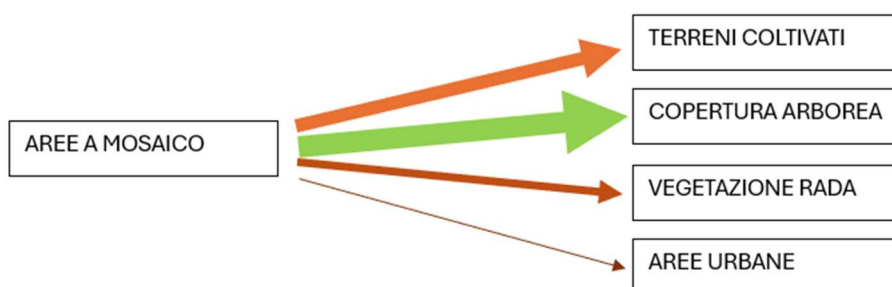


FIGURA 27: CAMBI DI USO DEL SUOLO SCENARIO 3. FONTE: ELABORAZIONE DATI

4.8 SCENARIO 1: AVANTI CON LA DEFORESTAZIONE

Le emissioni di gas GHG (Greenhouse Gas, gas a effetto serra) totali risultanti da questa modellizzazione sono 7,89 GtCO₂-e e sono state calcolate considerando il cambio di uso del suolo di un'area di 8,80 Mha e un tempo di 30 anni.

Il bilancio delle emissioni viene presentato dal foglio di calcolo EX-ACT come la differenza tra le emissioni della situazione senza progetto e quella in cui il progetto viene realizzato. In questo caso la situazione in cui il progetto non viene realizzato mostra delle emissioni nulle e la totalità delle emissioni quindi si concentra nella situazione con progetto.

Le emissioni dovute alla riduzione di estensione della macrocategoria “Copertura arborea” (indicate come “Deforestazione” nella figura 29 e nella tabella 12) hanno un valore di 8,40 GtCO₂-e, quelle dovute all'aumento della macrocategoria “Terreni coltivati” (indicate come “Colture annuali” nella figura 29 e nella tabella 12) hanno un valore di 0,025 GtCO₂-e. L'aumento di estensione delle piantagioni di palma da olio contribuisce invece sequestrando 0,54 GtCO₂-e.

I risultati sopra descritti sono riportati nelle seguenti figure 28 e 29 e nella tabella riassuntiva, Tabella 12.

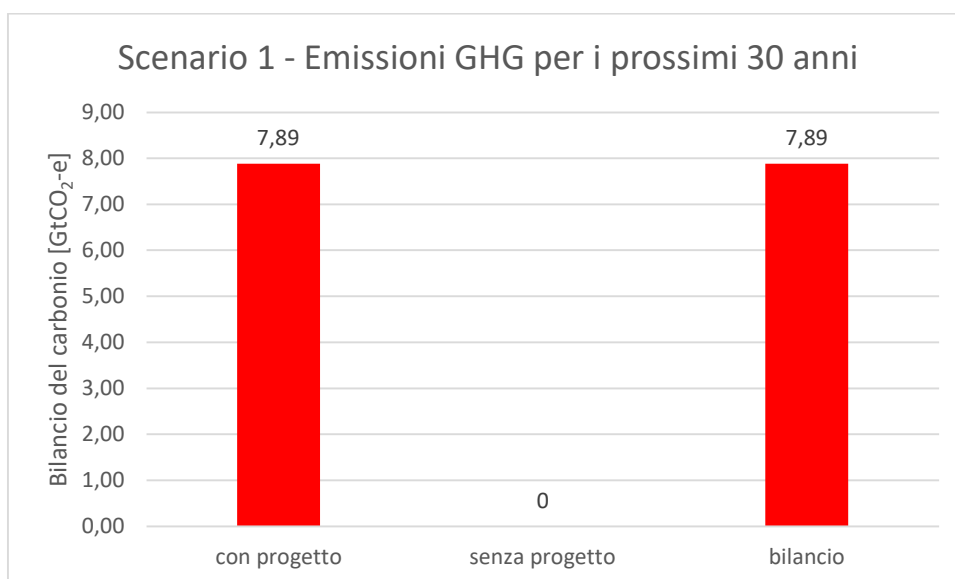


FIGURA 28: EMISSIONI TOTALI CON PROGETTO, SENZA PROGETTO E BILANCIO DEL CARBONIO PER LO SCENARIO 1. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

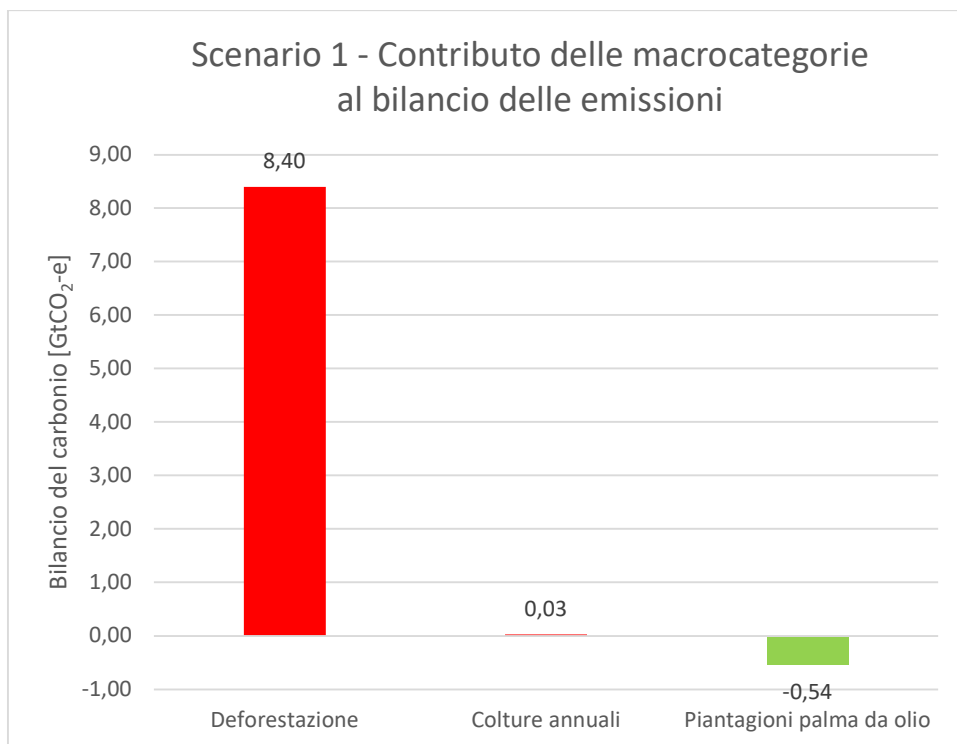


FIGURA 29: CONTRIBUTO DELLE DIVERSE MACROCATEGORIE AL RISULTATO DEL BILANCIO DEL CARBONIO PER LO SCENARIO 1. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

TABELLA 12: SCENARIO 1 - EMISSIONI GHG DIVISE PER COMPARTO DI ORIGINE. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

		Deforestazione	Colture annuali	Piantagioni palme da olio	Totale
Emissioni con progetto	[GtCO ₂ -e]	8,40	0,025	-0,54	7,89
Emissioni senza progetto	[GtCO ₂ -e]	0	0	0	0
Bilancio delle Emissioni	[GtCO ₂ -e]	8,40	0,025	-0,54	7,89

4.9 SCENARIO 2: STOP DEFORESTAZIONE

Le emissioni di gas GHG totali risultanti da questa modellizzazione sono 1,73 GtCO₂-e e sono state calcolate considerando il cambio di uso del suolo di un'area di 5,17 Mha e un tempo di 30 anni.

In questo caso la situazione in cui il progetto non viene realizzato mostra un sequestro di carbonio pari a 0,83 GtCO₂-e mentre la situazione con progetto mostra delle emissioni pari a 0,90 GtCO₂-e.

Per questo scenario non ci sono emissioni dovute alla deforestazione, di conseguenza, i contributi arrivano dai cambi di uso del suolo tra le altre macrocategorie. L'aumento di estensione della macrocategoria delle aree urbane a discapito delle piantagioni di palma da olio impatta con 0,80 GtCO₂-e mentre l'aumento delle colture annuali impatta per 0,039 GtCO₂-e. La riduzione di estensione delle piantagioni di palma da olio contribuisce anch'essa alle emissioni con una quantità pari a 0,89 GtCO₂-e.

I risultati sopra descritti sono riportati nelle seguenti figure 30 e 31 e nella tabella riassuntiva, Tabella 13.

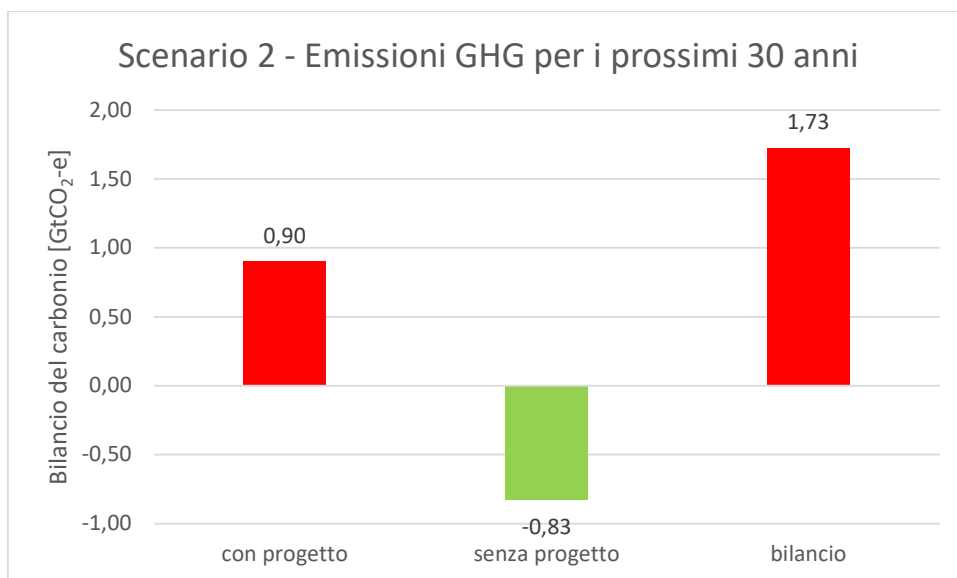


FIGURA 30: EMISSIONI TOTALI CON PROGETTO, SENZA PROGETTO E BILANCIO DEL CARBONIO PER LO SCENARIO 2. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

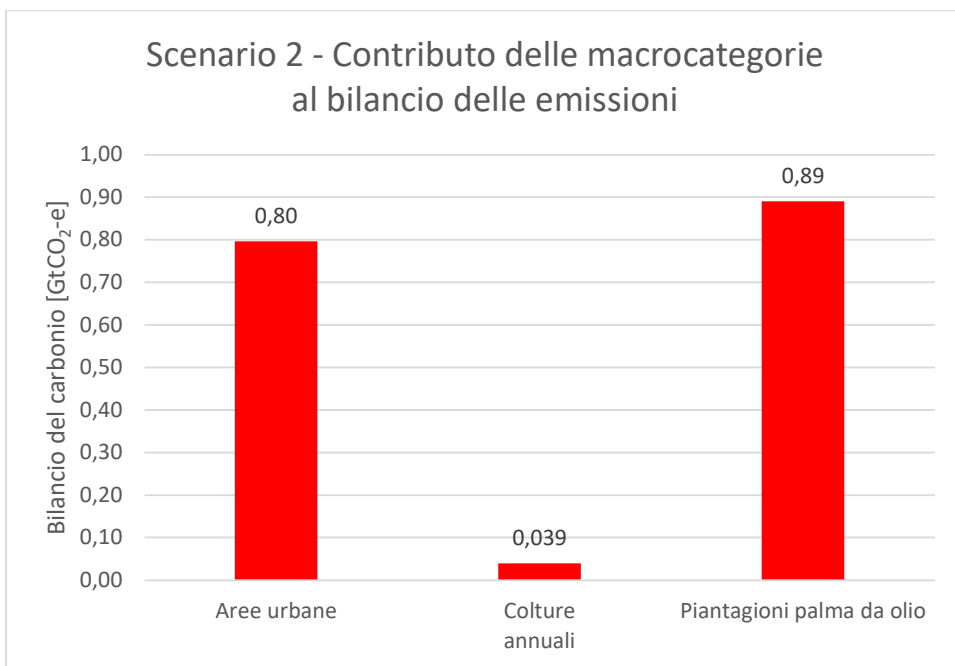


FIGURA 31: CONTRIBUTO DELLE DIVERSE MACROCATEGORIE AL RISULTATO DEL BILANCIO DEL CARBONIO PER LO SCENARIO 2. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

TABELLA 13: SCENARIO 2 - EMISSIONI GHG DIVISE PER COMPARTO DI ORIGINE. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

		Aree urbane	Colture annuali	Piantagioni palme da olio	Totale
Emissioni con progetto	[GtCO ₂ -e]	0,80	0,039	0,066	0,90
Emissioni senza progetto	[GtCO ₂ -e]	0	0	-0,83	-0,83
Bilancio delle Emissioni	[GtCO ₂ -e]	0,80	0,039	0,89	1,73

4.10 SCENARIO 3: STOP DEFORESTAZIONE E RIFORESTAZIONE ATTIVA

Le emissioni di gas GHG totali risultanti da questa modellizzazione sono 2,09 GtCO₂-e e sono state calcolate considerando il cambio di uso del suolo di un'area di 10,12 Mha e un tempo di 30 anni.

In questo caso la situazione in cui il progetto non viene realizzato mostra un sequestro di carbonio pari a 1,61 GtCO₂-e mentre la situazione con progetto mostra delle emissioni pari a 0,47 GtCO₂-e.

Anche per questo scenario non ci sono emissioni dovute alla deforestazione, ma oltre ai contributi dati dai cambi di uso del suolo tra le altre macrocategorie si aggiunge il contributo dato dall'attività di riforestazione. Gli impatti dati dall'aumento di estensione delle macrocategorie delle aree urbane e delle colture annuali, a discapito delle piantagioni di palma da olio, rimangono uguali allo scenario precedente avendo mantenuto le stesse variazioni di estensione, 0,80 GtCO₂-e e 0,039 GtCO₂-e rispettivamente. La riduzione di estensione delle piantagioni di palma da olio contribuisce anch'essa alle emissioni con una quantità pari a 1,74 GtCO₂-e. Il contributo dato dalla riforestazione è invece un sequestro di carbonio pari a 0,49 GtCO₂-e.

I risultati sopra descritti sono riportati nelle seguenti figure 32 e 33 e nella tabella riassuntiva, Tabella 14.

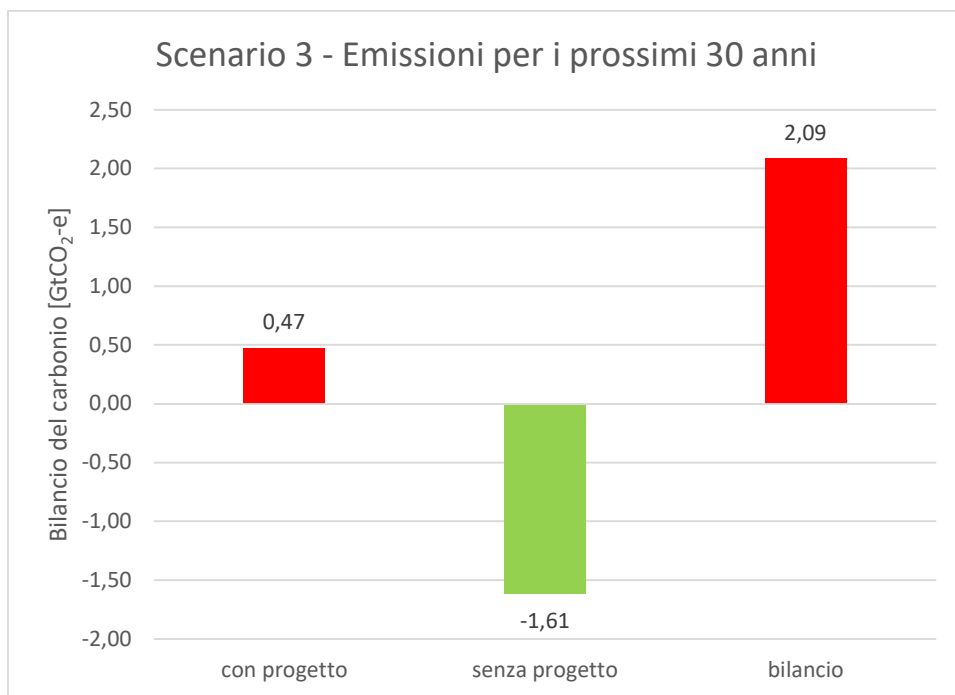


FIGURA 32: EMISSIONI TOTALI CON PROGETTO, SENZA PROGETTO E BILANCIO DEL CARBONIO PER LO SCENARIO 3. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

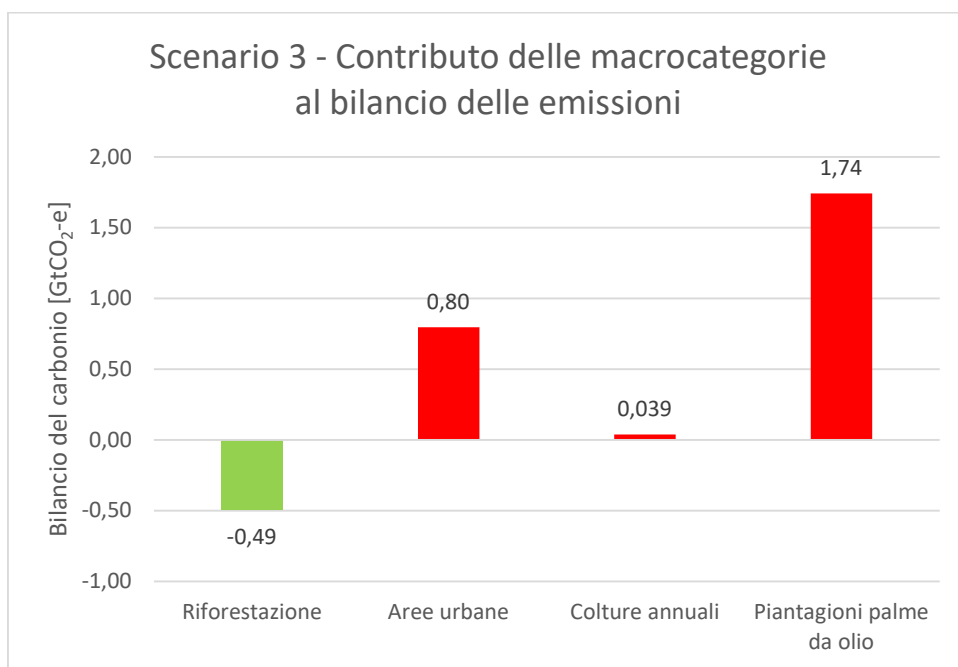


FIGURA 33: CONTRIBUTO DELLE DIVERSE MACROCATEGORIE AL RISULTATO DEL BILANCIO DEL CARBONIO PER LO SCENARIO 3. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

TABELLA 14: SCENARIO 3 - EMISSIONI GHG DIVISE PER COMPARTO DI ORIGINE. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

		Riforestazione	Aree urbane	Colture annuali	Piantagioni palme da olio	Totale
Emissioni con progetto	[GtCO ₂ -e]	-0,49	0,80	0,039	0,13	0,47
Emissioni senza progetto	[GtCO ₂ -e]	0	0	0	-1,61	-1,61
Bilancio delle Emissioni	[GtCO ₂ -e]	-0,49	0,80	0,039	1,74	2,09

4.11 CONFRONTO TRA I N.3 SCENARI

Le emissioni del primo scenario hanno un valore di 7,89 GtCO₂-e, quelle del secondo scenario 1,73 GtCO₂-e (-78,11% rispetto al primo scenario) e quelle del terzo 2,08 GtCO₂-e (-73,52% rispetto al primo scenario).

Considerando invece l'estensione delle aree che hanno subito un cambio di uso del suolo, nel primo scenario osserviamo 8,80 Mha, nel secondo 5,17 Mha e nel terzo 10,12 Mha. Avendo queste due tipologie di dati e la durata del progetto, 30 anni, è stato possibile rapportare il valore delle emissioni agli ettari considerati e agli anni di durata del progetto in modo da ottenere un valore di emissioni all'ettaro all'anno da poter paragonare tra i tre scenari. Per il primo scenario il risultato ottenuto è stato 29,88 tCO₂-e/ha/yr, per il secondo 11,13 tCO₂-e/ha/yr e per il terzo 6,88 tCO₂-e/ha/yr.

I risultati sopra descritti sono riportati nelle seguenti figure 34, 35 e 36 e nella tabella riassuntiva, Tabella 15.

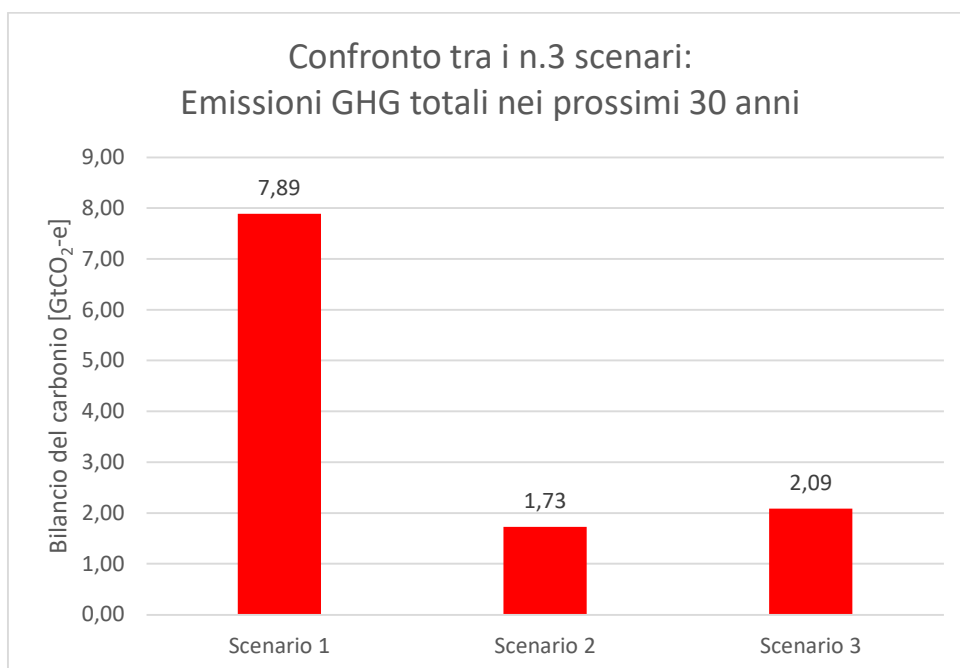


FIGURA 34: CONFRONTO TRA LE EMISSIONI GHG TOTALI DEI N.3 SCENARI. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

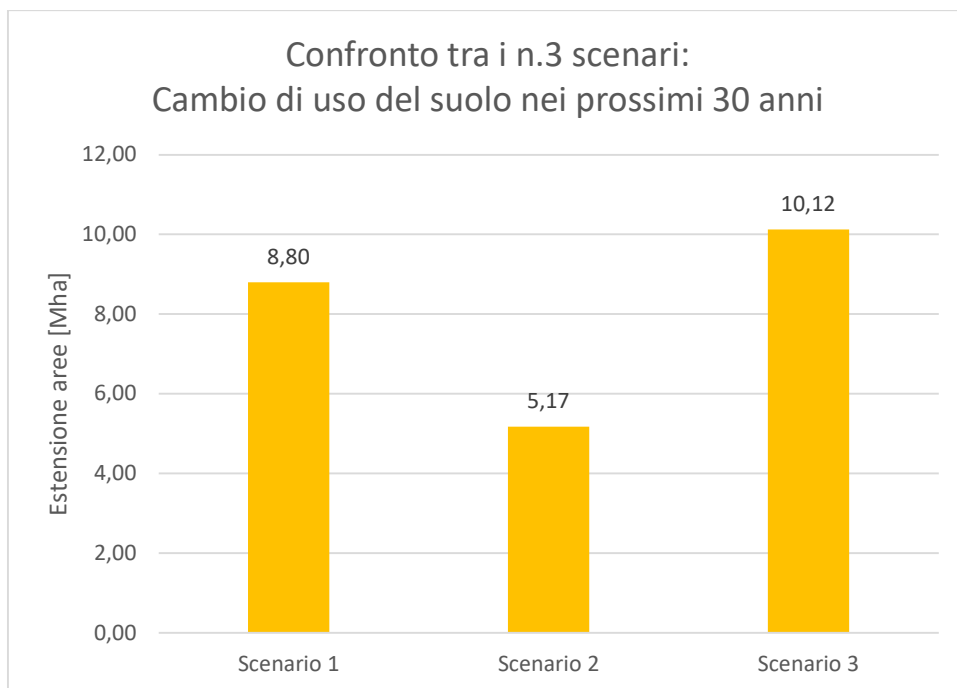


FIGURA 35: CONFRONTO TRA LE AREE CHE HANNO SUBITO UN CAMBIO DI USO DEL SUOLO NEI N.3 SCENARI. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

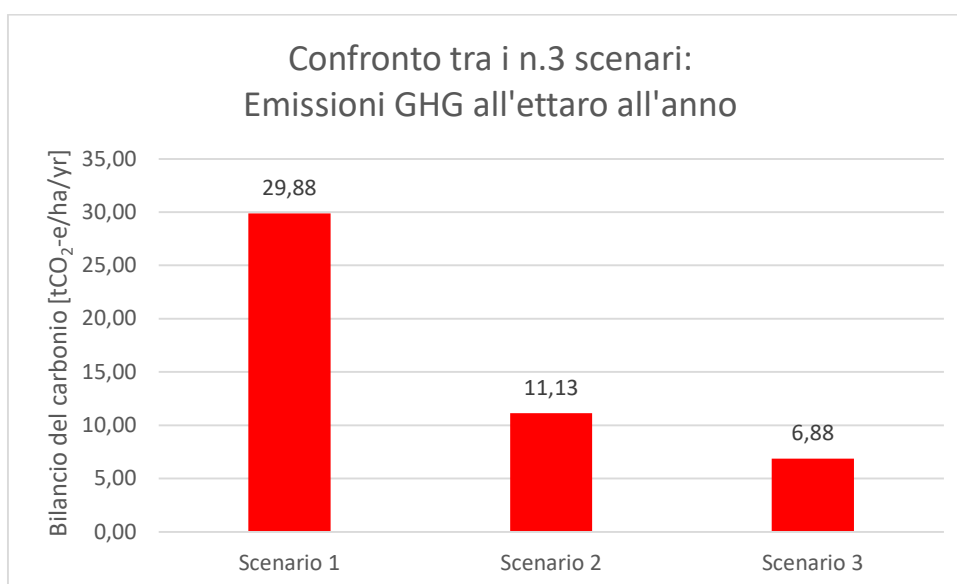


FIGURA 36: CONFRONTO TRA LE EMISSIONI GHG ALL'ETTARO ALL'ANNO NEI N.3 SCENARI. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

TABELLA 15: VALORI DI CONFRONTO TRA I N.3 SCENARI. FONTE: ELABORAZIONE DATI.

		SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Emissioni GHG totali	[GtCO ₂ -e]	7,89	1,73	2,09
Aree del cambio di uso del suolo	[Mha]	8,80	5,17	10,12
Emissioni GHG all'ettaro all'anno	[tCO ₂ -e/ha/yr]	29,88	11,13	6,88

5 DISCUSSIONE

5.1 SITUAZIONE ATTUALE

Nella prima parte del presente studio è stato esaminato l'andamento del cambio di uso del suolo nel territorio del Borneo considerando i dati scaricati dal data base on-line EARTH MAP relativi all'ultimo trentennio (1992-2020). L'accuratezza di questi dati di partenza è sicuramente un fattore da tenere in considerazione.

I valori di accuratezza più elevati sono stati riscontrati per le classi di terreni coltivabili irrigui (89-92%), terreni coltivabili irrigati (89-83%), foreste sempreverdi di latifoglie (94-96%), aree urbane (88-86%), aree spoglie (88-88%), specchi d'acqua (92-96%) e neve e ghiaccio permanenti (97-96%). Ciò in genere non sorprende poiché queste classi sono omogenee, inequivocabili e riconoscibili. Ciò che è stato più inaspettato è l'elevata accuratezza associata alle classi di terreni coltivabili che purtroppo spesso sono scarsamente considerate negli usi del suolo a causa della loro natura dinamica e della grande varietà di agrosistemi. Al contrario, le classi di mosaico di vegetazione naturale sono associate ai valori di accuratezza più bassi (73-75%), così come le classi di licheni e muschi, di vegetazione rada e di foresta allagata con acqua dolce. (Land Cover CCI Product User Guide Version 2.0, 2017).

Oltre all'accuratezza dei dati di partenza, un altro limite da considerare per questa prima parte di studio è stata la differenza di classificazione delle categorie di uso del suolo utilizzata nel progetto che ha realizzato il data base da cui abbiamo scaricato i dati rispetto alla classificazione utilizzata nel foglio di calcolo EX-ACT utilizzato nella seconda parte dello studio. Le tipologie di uso del suolo differenziate nell'ambito del progetto ESA CCI, da cui abbiamo scaricato i dati, sono state definite utilizzando il Land Cover Classification System (LCCS) sviluppato dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) mentre il foglio di calcolo EX-ACT segue le Linee guida IPCC 2006 per gli inventari nazionali dei gas serra (IPCC 2006). Per rendere compatibili i dati scaricati e il foglio di calcolo è stato necessario raggruppare le categorie simili del data base in n.5 macrocategorie similari a quelle utilizzate dal foglio di calcolo.

In merito ai risultati ottenuti vale la pena soffermarsi sul dato che rappresenta il fenomeno della deforestazione, cioè la riduzione della superficie della macrocategoria identificata in questa prima parte di studio come "Copertura arborea" in quanto la riduzione di estensione di questa categoria ha permesso lo sviluppo di tutte le altre macrocategorie.

Il tasso di deforestazione nel periodo tra il 1992 e il 2020, considerando l'estensione di tutte le foreste del Borneo, è risultato 0,32% annuo, considerando solo i territori indonesiani del Borneo la percentuale sale allo 0,34% e invece scende allo 0,27% considerando il Borneo malese. Secondo i rapporti nazionali del 2020 del Global Forest Resources Assessments i tassi di deforestazione per l'intera Indonesia e Malaysia, dal 1990 al 2020, sono stati rispettivamente dello 0,74% annuo (FAO) e dello 0,24% annuo (FAO), quindi il presente studio ha ottenuto valori simili al rapporto nazionale per la parte malese ma valori inferiori alla metà per la parte indonesiana. È possibile che questa differenza sia dovuta al fatto che il territorio del Borneo indonesiano considerato in questo studio, rappresenta solo il 27,9% dell'intera Indonesia. Anche la Malaysia non si limita al territorio del Borneo malese ma in questo caso la sua percentuale copre il 59,8% dell'intera Malaysia.

È possibile fare un ulteriore confronto con altri studi andando a considerare il periodo tra il 2000 e il 2016. Per questo periodo, il tasso di deforestazione emerso dal presente studio, considerando tutte le foreste del Borneo, è 0,29% annuo, considerando solo i territori indonesiani del Borneo la percentuale sale allo 0,38% e allo 0,3% considerando il Borneo malese. Considerando ancora i rapporti nazionali del 2020 del Global Forest Resources Assessments i tassi di deforestazione per l'intera Indonesia e Malaysia, dal 2000 al 2016, sono stati rispettivamente dello 0,38% annuo (FAO) e dello 0,12% annuo (FAO), in questo caso i valori del presente studio sono uguali per la parte indonesiana ed inferiori per la parte malese. Nei precedenti studi di Gaveau et al. del 2016 e di Tomohiro et al. del 2023 il tasso di deforestazione delle foreste del Borneo nel periodo tra il 2000 e il 2016 è risultato rispettivamente 0,74% annuo e 0,6% annuo quindi più elevati del doppio rispetto al valore del presente studio che si avvicina di più ai valori ricavati dai rapporti nazionali del Global Forest Resources Assessments. Il motivo della differenza tra i valori del presente studio e di quelli citati precedentemente è legato all'estensione delle aree forestali considerate che nel presente studio erano più grandi di circa il 30% rispetto allo studio di Gaveau et al. e di circa il 25% rispetto allo studio di Tomohiro et al. Nello studio di Gaveau et al. per la stima delle aree forestali erano state utilizzate mappe create manualmente dopo la classificazione automatica dell'uso del suolo mentre per lo studio di Tomohiro et al. le mappe annuali dell'uso del suolo erano state create utilizzando il classificatore casuale delle foreste (RF). Al contrario per i BUR (Biennial Update Report) di Indonesia e Malaysia per l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) le estensioni delle foreste sui rispettivi territori nazionali sono aumentate. Nel BUR3 del 2021 relativo all'Indonesia nel

periodo tra il 2000 e il 2015, l'estensione dell'area coperta da foreste è passata da 108,5 Mha a 120,8 Mha, nel BUR4 del 2022 relativo alla Malaysia, nel periodo tra il 2005 e il 2019, per il solo Borneo malese l'estensione dell'area coperta da foreste è passata da 11,98 Mha a 12,4 Mha. Non è stato possibile risalire al metodo con cui questi dati sono stati calcolati perché non espressamente indicato nei rispettivi documenti considerati.

Gli altri risultati relativi alla totalità del Borneo, oltre alla riduzione della macrocategoria della "Copertura arborea", evidenziano un maggiore aumento per la macrocategoria delle "Aree a mosaico" rispetto alle altre, questo perché in questa macrocategoria sono contenute le piantagioni di palma da olio che hanno registrato una notevole espansione nel periodo analizzato. Per quanto riguarda le altre macrocategorie, "Terreni coltivati" e "Aree urbane" hanno subito un incremento dovuto allo sviluppo portato dall'espansione delle piantagioni di palma da olio.

Analizzando gli andamenti delle macrocategorie specifici delle varie regioni/nazioni del Borneo è emerso che il sultanato del Brunei ha una tendenza inversa nel cambio di uso del suolo rispetto alle regioni indonesiane e malesi, infatti, negli ultimi 30 anni, l'estensione della macrocategoria della "Copertura arborea" è aumentata e al contrario sono diminuite le estensioni relative alle macrocategorie di "Terreni coltivati" e delle "Aree a mosaico". Le "Aree urbane" hanno invece riportato un netto aumento. Questi andamenti trovano una spiegazione nella politica economica del Brunei che essendo basata sull'estrazione di petrolio e gas naturali ha meno necessità di promuovere l'espansione del settore agricolo e delle piantagioni di palma da olio, punta invece ad incrementare le infrastrutture e il benessere della popolazione espandendo le città. Tra le altre regioni del Borneo l'unica ad avere un andamento in controtendenza, cioè dove la "Copertura arborea" risulta in aumento e le "Aree a mosaico" risultano in calo, è risultata essere la regione malese del Sabah. Tutte le altre regioni seguono la tendenza complessiva del Borneo dove la "Copertura arborea" diminuisce a favore di tutte le altre macrocategorie.

5.2 SCENARI FUTURI

Nella seconda parte dello studio è stato utilizzato il foglio di calcolo EX-ACT per il calcolo delle emissioni di GHG dovute al cambio di uso del suolo in diversi scenari futuri.

Le assunzioni fatte per la realizzazione delle diverse modellizzazioni hanno rappresentato i limiti di questa parte di studio. Le assunzioni più significative sono state:

- 1) Tutti i cambi di uso del suolo che hanno coinvolto la categoria "Agroforestry" sono stati caratterizzati come piantagioni di palma da olio in modo da simulare l'aumento

di estensione di queste piantagioni a discapito delle foreste o viceversa, in base allo scenario considerato;

- 2) Sia per le piantagioni di palma da olio che per le coltivazioni annuali sono stati considerati i seguenti tipi di gestione, valutati come i più simili alle condizioni reali:
 - a. “Reduced tillage”: lavorazione primaria e/o secondaria ma con ridotta perturbazione del suolo (solitamente superficiale e senza inversione completa del suolo). Normalmente lascia la superficie con una copertura >30% da parte dei residui alla semina.
 - b. “Low C input”: sistemi di coltivazione a basso apporto di C come nelle seguenti condizioni:
 - (1) I residui colturali delle colture annuali vengono rimossi o bruciati senza utilizzare ammendanti organici (ad esempio letame);
 - (2) Vengono coltivate colture a bassa resa di residui (ad esempio cotone, mais verde, ortaggi, tabacco) o rotazione frequente con maggese nudo senza ammendanti organici, colture di copertura/concimi verdi e sistemi misti di colture/erba;
 - (3) Colture annuali senza fertilizzazione minerale o colture che fissano l'azoto senza irrigazione, colture di copertura/concimi verdi, maggese vegetato, colture ad alta resa di residui e sistemi misti di colture/erba.
 - c. “Residue retained”: i residui delle colture vengono lasciati sul campo per decomporsi e reincorporarsi nel terreno della coltura.

Questa assunzione in particolare ha avuto un notevole impatto nei risultati del secondo e terzo scenario in cui la deforestazione si è fermata e i cambi di uso del suolo hanno ridotto l'estensione delle piantagioni di palma da olio.

- 3) Il tempo considerato nelle modellizzazioni è stato di 30 anni e tutti come fase di implementazione. La fase di capitalizzazione non è stata considerata. Questo va a simulare una situazione più simile alla realtà in cui i cambiamenti si svolgono nell'intero tempo considerato e non è verosimile che negli anni successivi si riesca a mantenere una situazione stabile senza ulteriori cambiamenti di uso del suolo.

I risultati ottenuti sono stime future basate sulle precedenti assunzioni, per tentare un confronto con la letteratura scientifica è stato calcolato un tasso di emissione annua considerando il primo scenario (il più vicino alla realtà), ottenendo il valore di 0,26 GtCO₂-e/yr. Il rapporto del Global Carbon Budget del 2023 riporta il seguente valore per le

emissioni di carbonio dovute al cambio di uso del suolo nel 2022, $1,2 \pm 0,7$ GtCO₂, a livello globale. Essendo il nostro risultato circa 5 volte inferiore si potrebbe considerare di un ordine di grandezza verosimile. Lo studio di Tomohiro et al. del 2023 riporta un valore di emissioni di carbonio dovute al cambiamento di uso del suolo nel Borneo uguale a 0,695 GtCO₂/yr, circa 3 volte superiore al risultato del presente studio. Questi risultati differenti sottolineano la difficoltà nella valutazione delle emissioni date dalla deforestazione e l'importanza dei dati di partenza. Lo studio di Tomohiro ha utilizzando i dati del periodo compreso tra il 2000 e il 2016, un'area di cambio di uso del suolo di 3,8 Mha (56,8% inferiore all'area considerata nel primo scenario del presente studio) e fattori di scala per il calcolo delle emissioni presi da vari altri studi.

I risultati del presente studio mostrano chiaramente, per il primo scenario, l'impatto altamente negativo che ha avuto la deforestazione sulle emissioni di gas GHG in atmosfera e quindi sul cambiamento climatico. Hanno mostrato anche che convertire le foreste in colture annuali è più impattante sulle emissioni rispetto a convertirle in piantagioni di palma da olio, questo perché, pur avendo ipotizzato lo stesso tipo di gestione, le colture annuali alla fine del loro ciclo vengono raccolte e il carbonio in esse contenute rientra nel ciclo invece di rimanere stoccato come succede nella biomassa delle palme da olio.

Nel secondo scenario, senza deforestazione, i valori delle emissioni sono risultati molto più bassi. Il foglio di calcolo ha considerato la somma delle emissioni derivate dall'esecuzione del progetto e quelle derivate dal mancato sequestro che si avrebbe avuto se non fosse stato eseguito il progetto quindi quest'ultimo viene considerato come emissione. Il sequestro di CO₂-e considerato dal foglio di calcolo in caso si mantenga la stessa estensione di piantagioni di palme da olio e quindi non ci sia nessun cambiamento di uso del suolo, è giustificato dal fatto che nella gestione ipotizzata per queste piantagioni è stata considerata comunque una piccola immissione di carbonio nel suolo che poi viene fissato al suo interno e all'interno della biomassa delle piante. Andando a convertire le piantagioni in aree urbane e in colture annuali questo effetto di sequestro viene meno, questo spiega il valore del contributo alle emissioni risultato per le piantagioni di palma da olio. Per il terzo scenario vale la logica di interpretazione dei dati descritta per il secondo con in più la variazione che l'attività di riforestazione ha un'azione di sequestro del carbonio giustificabile dalla crescita della biomassa delle piante tramite il processo della fotosintesi.

Dal confronto diretto dei valori di emissioni totali di GHG dei n.3 scenari è emerso senza dubbio che il primo è il più impattante nei confronti del cambiamento climatico, liberando

in atmosfera una quantità di gas effetto serra molto maggiore degli altri scenari. Confrontando lo stesso valore tra il secondo e il terzo scenario risulta più impattante il terzo scenario, questo trova una giustificazione considerando l'estensione delle aree che hanno subito un cambio di uso del suolo, infatti, l'area considerata nel terzo scenario è circa il doppio di quella del secondo, quindi il terzo scenario, pur generando meno emissioni ad ettaro genera un'emissione totale più alta. Andando a confrontare invece i valori di emissioni rapportati all'ettaro e all'anno risulta che lo scenario meno impattante è il terzo, dove è presente la riforestazione.

5.3 INDICAZIONI PRATICHE

Dal presente studio si evince l'attuale situazione della deforestazione nel Borneo e il grave impatto che questa genera a livello di aumento di emissioni GHG in atmosfera. Le indicazioni pratiche per affrontare la situazione partono sicuramente dall'individuare le cause della deforestazione e del degrado forestale come il disboscamento e il cambio di uso del suolo ma anche gli incendi e implementare delle politiche prioritarie a livello nazionale per contrastarle. Tali politiche variano dalla lotta al disboscamento illegale e agli incendi boschivi alla ristrutturazione delle industrie del settore forestale, incluso il potenziamento dello sviluppo delle piantagioni forestali, riabilitazione e conservazione delle foreste, promozione di aree forestali sostenibili e rafforzamento delle economie locali.

In particolare, l'incremento di piantagioni forestali presenta molteplici vantaggi tra cui contribuire al sequestro di CO₂ durante la loro crescita, dare un ritorno economico vendendo il legname che, se non utilizzato per la combustione potrebbe mantenere lo stock di carbonio e inoltre se realizzate attorno ad aree protette contribuiscono alla continuità forestale che a sua volta contribuisce al mantenimento della biodiversità.

La deforestazione è spinta dal ritorno economico dovuto al commercio del legno e alla successiva possibilità di utilizzare il terreno per le piantagioni industriali di alberi della gomma e di palme da olio, difficilmente le nazioni interessate opteranno per la sua riduzione senza incentivi in cambio. Considerando i risultati ottenuti da questo studio, un possibile incentivo si potrebbe trovare nei mercati volontari dei crediti di carbonio andando a valorizzare la riduzione delle emissioni dovute alla riduzione della deforestazione e di cambio di uso del suolo.

6 CONCLUSIONI

6.1 CAMBIO DI USO DEL SUOLO

Nell'isola del Borneo, dal 1992 al 2020, è andato perduto il 9,35% delle foreste, pari a 4,95 Mha (6,69% della superficie totale del Borneo) continuando di questo passo nel 2050 la perdita rispetto al 1992 raggiungerà il 26,43%, pari a 13,98 Mha (18,91% della superficie totale del Borneo).

Le foreste hanno lasciato il posto principalmente ad aree che nello studio abbiamo individuato come "Aree a mosaico" e che nella realtà possono essere considerate verosimilmente come piantagioni di palma da olio che hanno incrementato la loro estensione del 18,9%, pari a 3,27 Mha (4,42% della superficie totale del Borneo). In futuro, la previsione per l'estensione di questa tipologia di uso del suolo prevede un aumento, rispetto al 1992, del 39,83%, pari a 6,9 Mha (9,32% della superficie totale del Borneo).

Le altre tipologie di uso del suolo che hanno incrementato la loro estensione e che continueranno a farlo in futuro sono i terreni coltivati, le aree coperte da vegetazione rada e le aree urbane.

6.2 MODELLIZZAZIONE DELLE EMISSIONI GHG FUTURE

Nel presente studio sono stati modellizzati n.3 scenari estremi per meglio comprendere i diversi impatti sulle emissioni di GHG dovuti al diverso uso del suolo nei prossimi 30 anni in Borneo.

Il primo scenario, dove la deforestazione e i vari cambi di uso del suolo continuano con i trend mostrati dal 1992 al 2020, prende in considerazione un'area di 8,8 Mha e produce un'emissione pari a 7,89 GtCO₂-e (29,88 tCO₂-e/ha/yr).

Il secondo scenario, dove l'estensione delle foreste rimane uguale per i prossimi 30 anni e al suo posto viene ridotta l'estensione delle piantagioni di palma da olio per permettere l'incremento delle altre categorie di uso del suolo, prende in considerazione un'area di 5,17 Mha e produce un'emissione pari a 1,73 GtCO₂-e (11,13 tCO₂-e/ha/yr).

Il terzo scenario, dove alla situazione del secondo si aggiunge un'azione di riforestazione attiva sempre a discapito delle piantagioni di palma da olio, prende in considerazione un'area di 10,12 Mha e produce un'emissione pari a 2,08 GtCO₂-e (6,88 tCO₂-e/ha/yr).

6.3 CONSIDERAZIONI GENERALI

Il presente studio mette in evidenza l'impatto negativo della deforestazione sulle emissioni di GHG in atmosfera e quindi il loro contributo al cambiamento climatico. Si evince anche

la portata della riduzione delle emissioni legata alla riduzione della deforestazione e all'azione di riforestazione attiva. Entrambe queste pratiche devono essere sicuramente implementate e monitorate nelle politiche nazionali di Indonesia e Malaysia per contribuire in modo positivo al contenimento del cambiamento climatico globale.

7 BIBLIOGRAFIA

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J, Mayaux, P., Gallego, J., Richard, T., & Malingreau, J.P. (2002). Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297: 999-1002.
- Aiken, S., Leigh, C. (1992). *Vanishing Rain Forests: The Ecological Transition in Malaysia*. New York: Oxford Uni. Press.
- Ashton, P. (1982). Dipterocarpaceae. *Flora Malesiana Series*, 1(9): 237-552.
- Ashton, P. (1995). Biogeography and Ecology. In Soepadmo, E. & Wong, K.M. (Eds.), *Tree flora of Sabah and Sarawak*. Forest Research Institute Malaysia, Sabah Forestry Dept. & Sarawak Forestry Dept. Pp XLIII-LI.
- Ashton, P. (2004). Dipterocarpaceae. In Soepadmo, E., Saw, L.G., & Chung, R.C.K. (Eds.), *Tree Flora of Sabah and Sarawak vol.5*. Forest Research Institute Malaysia, Sabah Forestry Dept. & Sarawak Forestry Dept.
- Ashton P. (2008) "Changing values of Malaysian forests: the challenge of biodiversity and its sustainable management" *Journal of Tropical Forest Science* 20(4): 282–291
- Asni M. R., Atih R. D., Asep R. H. (2022) "Environmental Policies for Sustainable Economic Growth Achievement in Indonesia and Negara Brunei Darussalam", *Proceedings of the 4th Social and Humanities Research Symposium (SoRes 2021)*, DOI 10.2991/assehr.k.220407.095
- Astiani D., Curran, L. M., Burhanuddin Taherzadeh, M., Mujiman, Hatta M., Pamungkas W., Gusmayanti E., (2018) "Fire-driven biomass and peat carbon losses and post-fire soil CO₂ emission in a West Kalimantan peatland forest" *Journal of Tropical Forest Science* 30(4): 570–575. <https://doi.org/10.26525/jtfs2018.30.4.570575>
- Bennett, E., Shebli, Z. (1999). Sarawak's system of totally protected areas: will it protect Sarawak's biodiversity? *Hornbill*, 3:38-45.
- Berwyn, B. (2018) "Palm Oil: Too Much of a Good Thing?" DW: Environment, DW <https://www.dw.com/en/palm-oil-too-much-of-a-good-thing/a-44979802>.
- Blaser, J., Sarre, A., Poore, D., Johnson, S. (2011). *Status of Tropical Forest Management 2011*. ITTO Technical Series No 38. International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan.
- Butler T., Rhett A. (2020) "Borneo".Mongabay, Mongabay, <https://rainforests.mongabay.com/borneo/>

- Butler, T. (2005) “Kalimantan at the Crossroads: Dipterocarp Forests and the Future of Indonesian Borneo.” Mongabay Environmental News, Mongabay, <https://news.mongabay.com/2005/04/kalimantan-at-the-crossroads-dipterocarp-forests-and-the-future-of-indonesian-borneo/>
- Cooper, H. V. et al. (2019). From peat swamp forest to oil palm plantations: The stability of tropical peatland carbon. *Geoderma* 34, 109–117
- Cooper, H., Evers, S., Aplin, P. et al. (2020). Greenhouse gas emissions resulting from conversion of peat swamp forest to oil palm plantation. *Nat Commun* 11, 407 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14298-w>
- Corlett, R., Primack, R. (2008). *Tropical Rainforest Conservation: A Global Perspective*. In Carson, W. & Schnitzer, S. (Eds.), *Tropical Forest Community Ecology*. West Sussex, UK: Blackwell Publishing. Pp 442-457.
- Coroniti, S. (2022). Historical and Future Role of Wilmar Palm Oil in Deforestation of Indonesian Borneo. Senior Theses 525. https://scholarcommons.sc.edu/senior_theses/525
- Couwenberg, J., Dommain, R., Joosten, H. (2010) Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. *Glob. Change Biol.* 16, 1715–1732.
- Cumbers, J. (2019). “There Is More Money In The Borneo Rainforest’s Biodiversity Than In Its Deforestation.” *Forbes*.
- Curran, L. M., Trigg, S. N., McDonald, A.K., Astiani, D., Hardiono, Y.M., Siregar, P., Kasischke, E. (2004) Lowland forest loss in protected areas of Indonesian Borneo. *Science* 303(5660):1000–1003. <https://doi.org/10.1126/science.1091714>
- Dargie, G. C. et al. (2017). Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. *Nature* 542, 86–90
- Dariah, A., Marwanto, S. Agus, F. (2014). Root- and peat-based CO₂ emissions from oil palm plantations. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 19, 831–843
- DOA (Department of Agriculture). (2011). *Sarawak Agriculture Statistics 2010*: <http://www.doa.sarawak.gov.my/modules/web/page.php?id=504>. Downloaded on 28.8. 2012.
- Dopico, A. (2019) “What Is the Dipterocarp Forest?” *JanetPanic.com*, <https://janetpanic.com/what-is-the-dipterocarp-forest/>
- DOS (Department of Statistic). (2010). *Annual Rubber Statistic Malaysia 2010*. Dept. Of Statistic Malaysia.

- DOS (Department of Statistics). (2011). Yearbook of Statistic Sarawak. Dept. Of Statistic Malaysia Sarawak.
- Draper, F. C. et al. (2014). The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environ. Res. Lett.* 9, 124017
- Ecosystems of the Heart of Borneo.” *A Well-Synched Ecological Machine*, WWF, 2006, https://wwf.panda.org/discover/knowledge_hub/where_we_work/borneo_forests/about_borneo_forests/ecosystems/.
- Environmental Protection Agency. (2014). Emission Factor for Tropical Peatlands Drained for Oil Palm Cultivation Peer - Review Report. Washington, D.C
- European Parliament Legislative Observatory. Palm Oil and Deforestation of Rainforests in 2016 (accessed 4 September 2019); <https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/printbasicinformation.pdf?id=672648&lang=en>.
- Evers, S. et al. (2017). Keep wetlands wet: the myth of sustainable development of tropical peatlands – implications for policies and management. *Glob. Change Biol.* 23, 534–549
- FDS (Forest Department Sarawak). (2009). Sarawak Forest Department Annual Report 2009. Forest Dept. Sarawak
- Friedlingstein, P. *et al.* Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data* 15, 5301–5369. <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023> (2023).
- Gaveau, D.L.A. et. al., (2014) Four Decades of Forest Persistence, Clearance and Logging on Borneo, PLoS ONE
- Gaveau, D.L.A., et al. (2018) “Rise and Fall of Forest Loss and Industrial Plantations in Borneo (2000–2017).” *Conservation Letters*, vol. 12, no. 3, <https://doi.org/10.1111/conl.12622>.
- Government of Malaysia. (2011). National Timber Industry Policy (NATIP)
- Hon., J., Shibata, S. (2016). A Review on Land Use in the Malaysian State of Sarawak, Borneo and Recommendations for Wildlife Conservation Inside Production Forest Environment. *Borneo Journal of Resource Science and Technology*, 3(2), 22–35. <https://doi.org/10.33736/bjrst.244.2013>
- Hooijer, A. et al. (2012). Subsidenza e perdita di carbonio nelle torbiere tropicali drenate. *Biogeoscienze* 9, 1053–1071

- Hoscilo, A., Page, S. E., Tansey, K. J., Rieley, J. O. (2011) Effect of repeated fires on land-cover change on peatland in southern Central Kalimantan, Indonesia, from 1973 to 2005 *Int. J. Wildland Fire* 20 578–88
- Huijnen, V., Wooster, M.J., Kaiser, J. W., Gaveau, D.L.A., Flemming, J., Parrington, M., Inness, A., Murdiyarso, D., Main, B., van Weele, M. (2016) Fire carbon emissions over maritime southeast Asia in 2015 largest since 1997 *Sci. Rep.* 6 26886
- Ichikawa, M. (2007). Degradation and loss of forest land and land-use changes in Sarawak, East Malaysia: a study of native land use by the Iban. *Ecological Research*, 22: 403-413.
- Imron, M. A., Widyastuti, K., Al Bihad, D., Satria, R. A., Prayoga, W., Pradopo, S. T., Suryatmojo, H., Sopha, B. M., Harrison, M. E., Berger, U. (2022) Beyond climatic variation: human disturbances alter the effectiveness of a protected area to reduce fires in a tropical peatland *Front. For. Glob. Change* 5 788023
- ITTO (International Tropical Timber Organization). (1990). Report submitted to the International Tropical Timber Council by Mission Established Pursuant to Resolution I(VI) "The Promotion of Sustainable Forest Management: A Case Study in Sarawak, Malaysia". International Tropical Timber Council.
- Jauhiainen, J. et al. (2012). Nitrous oxide fluxes from tropical peat with different disturbance history and management. *Biogeosciences* 9, 1337–1350
- Koh, L. P., Wilcove, D. S. (2008). Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Conservation Letters*, 1, 60–64. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00011.x>
- Langner, A., Miettinen, J., Siegert, F. (2007). Land cover change 2002–2005 in Borneo and the role of fire derived from MODIS imagery. *Global Change Biology*, 13: 2329–2340.
- Laurance, W. (2007). Have we overstated the tropical biodiversity crisis? *Trends in Ecology and Evolution*, 22: 65-70.
- Laurance, William F., et al. (2007) "Habitat Fragmentation, Variable Edge Effects, and the Landscape-Divergence Hypothesis." *PLoS ONE*, vol. 2, no. 10 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001017>.
- MacKinnon, J. (1997). Protected Areas Systems Review of the Indo-Malayan Realm. Canterbury: The Asian Bureau for Conservation & The World Conservation Monitoring Center/World Bank Publication.

- MacKinnon, K., Hatta, G., Halim, H., Mangalik (1996). The ecology of Kalimantan, Indonesian Borneo. Singapore: Dalhousie Uni. and Periplus Eds (HK) Ltd.
- Matysek, M., Evers, S., Samuel, M. K., Sjogersten, S. (2017) High heterotrophic CO₂ emissions from a Malaysian oil palm plantations during dry-season. *Wetl. Ecol. Manag.* 26, 415–424.
- Melling, L., Hatano, R., Goh, K. J. (2007). Nitrous oxide emissions from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, 792–805
- Melling, L., Hatano, R., Goh, K. J., (2005). Soil CO₂ flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *Tellus* 57B, 1–11
- Miettinen, J., Hooijer, A., Wang, J., Shi, C., Liew, S. C. (2012^o) Peatland degradation and conversion sequences and interrelations in Sumatra Reg. *Environ. Change* 12 729–37
- Miettinen, J., Shi, C., Liew, S. (2011). Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology*, 17: 2261-2270.
- Miettinen, J., Shi, C., Liew, S. C. (2012b) Two decades of destruction in Southeast Asia's peat swamp forests *Front. Ecol. Environ.* 10 124–8
- Miettinen, J., Shi, C., Liew, S. C. (2016). Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990. *Glob. Ecol. Conserv.* 6, 67–78
- MOA (Ministry of Agriculture). (1998). Third National Agricultural Policy, 1988-2010. Ministry of Agriculture, Malaysia.
- Myers, N. (1988). Threatened biotas: "Hotspots" in tropical forests. *The Environmentalist*, 8(3): 187-208.
- Noss, R. F., O'Connell, M. A., Murphy, D. D. (1997). *The Science of Conservation Planning: Habitat Conservation under the Endangered Species Act*. Island Press, Washington
- Odegaard, F. (2000). How many species of arthropods? Erwin's estimate revised. *Biological Journal of the Linnean Society*, 71: 583-597.
- Page, S. E., Hooijer, A. (2016) In the line of fire: the peatlands of Southeast Asia *Phil. Trans. R. Soc. B* 371 20150176
- Page, S. E., Rieley, J. O., Banks, C. J. (2011). Global and regional importance of the tropical peatland Carbon Pool. *Glob. Change Biol.* 17, 798–818

- Page, S.E., Siegert, F., Rieley, J.O., Boehm, H.D.V., Jaya, B., Limin, S. (2002) The amount of carbon released from peat and forest fire in Indonesia during 1997. *Nature* 420: 61–65.
- Parish, F., Lim, S. S., Perumal, B., Giesen, W. (2012) RSPO manual on best management practices (BMPs) for management and rehabilitation of natural vegetation associated with oil palm cultivation on peat.
- Pieroni, A. (2007), “Piante medicinali, tossiche e velenose” Research group ethnobiology Prance, G. (1995). A comparison of the efficacy of higher taxa and species numbers in the assessment of biodiversity in the neotropics. In Hawkesworth, D. (Ed.), *Biodiversity: Measurement and Estimation*. London: Chapman & Hall. Pp 89-99.
- Qie, L., et al. (2018) “Long-Term Carbon Sink in Borneo’s Forests Halted by Drought and Vulnerable to Edge Effects.” *Nature Communications*, vol. 9, no. 1 <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02920-x>.
- Remington, R. (2018) “Climate Change Affecting High-Altitude Regions at Faster Rate, Rutgers Study Finds.” *Research & Innovation, Rutgers University*, <https://www.rutgers.edu/news/climate-change-affecting-high-altitude-regions-faster-rate-rutgers-study-finds>.
- Santoro, A., Piras, F., Qingyi, Y. (2023). “Spatial analysis of deforestation in Indonesia in the period 1950–2017 and the role of protected areas”, *Biodiversity and Conservation*, Shiraishi, T., Hirata, R., Hayashi, M. et al. (2023). Carbon dioxide emissions through land use change, fire, and oxidative peat decomposition in Borneo. *Sci Rep* 13, 13067 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40333-z>
- Shoumatoff, A.(2017) “Vanishing Borneo: Saving One of the World's Last Great Places.” Yale E360, University of Yale, <https://e360.yale.edu/features/vanishing-borneo-saving-one-of-worlds-last-great-places-palm-oil>.
- Siegert, F., Ruecker, G., Hinrichs, A., Hoffmann, A. A. (2001) Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Niño. *Nature* 414 437–40.
- Singh, M., Yan, S. (2021) Spatial–temporal variations in deforestation hotspots in Sumatra and Kalimantan from 2001–2018. *Ecol Evol* 11(12):7302–7314. <https://doi.org/10.1002/ece3.7562>
- Soepadmo, E., Wong, K.M. (1995). *Tree flora of Sabah and Sarawak*. Forest Research Institute Malaysia, Sabah Forestry Dept. & Sarawak Forestry Dept.

- Sumarga, E., Hein, L. (2016). Benefits and costs of oil palm expansion in Central Kalimantan, Indonesia, under different policy scenarios. *Regional Environmental Change*, 16(4), 1011–1021. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0815-0>
- Taylor, M. (2022) “This Borneo State Is Bringing about a Green Palm Oil Revolution, Here's How.” *Sustainable Development*, World Economic Forum <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/borneo-islands-sabah-state-green-palm-oil-deforestation-sustainability/>.
- Tillis, P.(2019) “How the World Got Hooked on Palm Oil.” *The Guardian*, Guardian News and Media, <https://www.theguardian.com/news/2019/feb/19/palm-oil-ingredient-biscuits-shampoo-environmental>.
- Tisen, O., Bennett, E. (2002). Wildlife conservation as part of holistic planning for sustainable forest management. *The Malaysian Forester*, 65(2): 59-65.
- Tsuyuki, S., Goh, M., Teo, S., Kamlun, K., Phua, M. (2011). Monitoring deforestation in Sarawak, Malaysia using multitemporal Landsat data. *Kanto Forest Research Journal*, 62: 87-90.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2009). Progress Towards the Convention on Biological Diversity's 2010 and 2012 Targets for protected Area Coverage. UNEP & WCMC.
- Vanclay, J.K. (1996). Estimating sustainable timber production from tropical forests. CIFOR Working Paper No.11: Estimating AAC in the Tropics.
- Vetrita, Y., Cochrane, M. A. (2020) Fire frequency and related land-use and land-cover changes in Indonesia's peatlands *Remote Sens.* 12 5
- Whitmore, T. (1988). Forest types and forest zonation. In Earl of Cranbrook (Ed.), Malaysia. Oxford: Pergamon Press. Pp 20- 30
- Widyastuti, K., Imron, M. A., Pradopo, S. T., Suryatmojo, H., Sopha, B. M., Spessa, A., Berger, U. (2020) PeatFire: an agent-based model to simulate fire ignition and spreading in a tropical peatland ecosystem *Int. J. Wildland Fire* 30 71–89
- Wikramanayake, E., Dinerstein, E., Loucks, C., Olson, D., Morrison, J., Lamoreux, J., McKnight, M., & Hedao, P. (2001). Terrestrial ecoregions of the Indo-Pacific: a Conservation assessment. Washington, DC: Island Press.
- Wilcove, D., Koh, L.P. (2010). Addressing the threats to biodiversity from oil palm agriculture. *Biodiversity and Conservation*, 19(4): 999-1007.

- Wilting, A., et al. (2010) “Modelling the Species Distribution of Flat-Headed Cats (Prionailurus Planiceps), an Endangered South-East Asian Small Felid.” PLoS ONE, vol. 5, no. 3, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009612>
- Wong, J. (1992). *Registrazione in collina nel Sarawak*. Kuching, Sarawak, Malesia.
- Wösten, J. H. M., Clymans, E., Page, S. E., Rieley, J. O., Limin, S. H. (2008) Peat–water interrelationships in a tropical peatland ecosystem in Southeast Asia CATENA 73 212–24
- WRI, IUCN, UNEP (World Resource Institute, International Union for Conservation of Nature & United Nations Environment Programme). (1992). *Global biodiversity strategy: guidelines for actions to save, study, and use Earth's biotic wealth sustainably and equitably*. World Resource Institute, The World Conservation Union & United Nations Environment Program.
- Wulffraat, S., Greenwood, C., Fahmi Faisal, K., Sucipto, D. (2016). *The environmental status of Borneo. Report 2016*, Wwf.

8 SITOGRAFIA

SFC (Sarawak Forestry Corporation). (2012). Sarawak National Parks: Biodiversity Conservation. <https://sarawakforestry.com/national-parks-nature-reserves>, consultato il 16 settembre 2024.

<https://www.survival.it/popoli/penan>, consultato il 16 settembre 2024.

<https://www.lifegate.it/borneo-malese-indigeni-penan-barricate>, consultato il 16 settembre 2024.

<https://www.wwf.ch/it/progetti/le-misteriose-torbiere-un-ruolo-sottovalutato-nella-tutela-climatica#:~:text=Il%20drenaggio%20e%20l'agricoltura,suolo%20come%20CO2%20nell'atmosfera>, consultato il 20 settembre 2024.

<https://www.worldwildlife.org/ecoregions/im0102> Borneo lowland rain forests, in Terrestrial Ecoregions, World Wildlife Fund, 2021, consultato il 20 settembre 2024.

ALLEGATO A

TABELLA A1: ESTENSIONI “TERRENI COLTIVATI” PER BORNEO E SUE REGIONI NEL TEMPO. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA IN FIGURA 13

Anni	Terreni coltivati - dati reali	Terreni coltivati - previsioni future	Anni	Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia
1992	2.348.949,92		1992	25.906,39	1.898.061,29	424.982,24
1993	2.347.969,77		1993	25.906,39	1.897.828,92	424.234,46
1994	2.347.203,25		1994	25.906,39	1.897.614,51	423.682,35
1995	2.444.887,20		1995	26.610,16	1.971.745,15	446.531,89
1996	2.462.085,22		1996	26.592,33	1.987.158,88	448.334,01
1997	2.496.181,25		1997	26.512,15	2.016.027,05	453.642,05
1998	2.533.970,76		1998	26.538,91	2.051.230,81	456.201,04
1999	2.567.765,75		1999	27.091,34	2.071.049,12	469.625,29
2000	2.574.445,06		2000	27.180,48	2.071.264,90	475.999,68
2001	2.574.362,38		2001	27.109,20	2.064.527,08	482.726,10
2002	2.576.075,56		2002	27.135,90	2.064.584,08	484.355,58
2003	2.593.021,50		2003	27.028,94	2.079.035,69	486.956,87
2004	2.602.138,13		2004	26.859,66	2.084.875,61	490.402,86
2005	2.624.364,53		2005	26.048,92	2.101.084,16	497.231,45
2006	2.668.003,19		2006	25.844,06	2.134.760,58	507.398,55
2007	2.737.202,17		2007	25.131,39	2.193.864,81	518.205,97
2008	2.800.725,04		2008	24.766,17	2.248.857,12	527.101,75
2009	2.853.401,45		2009	24.409,91	2.291.267,35	537.724,19
2010	2.947.846,67		2010	23.973,44	2.366.441,31	557.431,92
2011	3.012.583,94		2011	23.634,91	2.423.046,27	565.902,76
2012	3.070.063,27		2012	23.349,88	2.467.364,73	579.348,66
2013	3.107.649,88		2013	22.325,41	2.498.765,34	586.559,13
2014	3.166.568,54		2014	21.710,69	2.542.568,59	602.289,26
2015	3.164.040,45		2015	21.514,70	2.540.674,09	601.851,66
2016	3.268.015,56		2016	21.452,39	2.613.912,38	632.650,79
2017	3.309.410,69		2017	21.167,28	2.641.301,57	646.941,84
2018	3.389.040,42		2018	21.104,97	2.692.249,10	675.686,35
2019	3.442.718,62		2019	21.488,22	2.721.698,48	699.531,92
2020	3.472.689,06		2020	21.710,97	2.742.657,76	708.320,33
2021		3.584.495,20				
2022		3.657.697,10				
2023		3.732.989,28				
2024		3.810.371,75				
2025		3.889.844,51				
2030		4.318.562,62				
2035		4.799.537,92				
2040		5.332.770,41				
2045		5.918.260,09				
2050		6.556.006,96				
			var. %	-16,19%	44,50%	66,67%
			ha	-4.195,42	844.596,47	283.338,09

TABELLA A2: ESTENSIONI “AREE A MOSAICO” PER BORNEO E SUE REGIONI. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA IN FIGURA 15

Anni	Aree a mosaico- dati reali	Aree a mosaico - previsioni future	Anni	Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia
1992	17.310.269,80		1992	54.600,18	13.799.551,31	3.456.118,31
1993	17.310.073,88		1993	54.600,18	13.799.515,55	3.455.958,15
1994	17.309.753,47		1994	54.600,18	13.799.444,07	3.455.709,22
1995	17.612.473,64		1995	54.938,67	14.061.411,68	3.496.123,29
1996	17.610.628,82		1996	54.867,36	14.083.152,48	3.472.608,98
1997	17.746.560,95		1997	55.197,10	14.200.523,78	3.490.840,07
1998	18.211.978,57		1998	56.043,64	14.636.692,21	3.519.242,72
1999	18.475.861,06		1999	56.916,74	14.840.750,27	3.578.194,05
2000	18.580.762,47		2000	57.032,55	14.873.140,43	3.650.589,49
2001	18.420.798,83		2001	53.165,39	14.714.143,91	3.653.489,53
2002	18.429.052,27		2002	52.515,02	14.727.925,33	3.648.611,92
2003	18.481.399,37		2003	49.387,43	14.833.995,64	3.598.016,30
2004	18.508.888,93		2004	48.157,83	14.857.743,31	3.602.987,79
2005	18.621.620,10		2005	47.489,66	14.945.310,63	3.628.819,81
2006	18.696.835,81		2006	47.151,05	15.062.876,22	3.586.808,54
2007	19.021.256,58		2007	46.393,66	15.327.681,87	3.647.181,05
2008	19.222.494,52		2008	45.974,88	15.473.262,81	3.703.256,83
2009	19.223.499,35		2009	45.761,04	15.438.631,52	3.739.106,79
2010	19.482.959,36		2010	45.458,07	15.624.341,49	3.813.159,80
2011	19.607.826,91		2011	45.128,40	15.728.064,65	3.834.633,86
2012	19.758.315,53		2012	45.101,67	15.834.165,17	3.879.048,69
2013	19.803.699,53		2013	44.540,41	15.859.598,23	3.899.560,89
2014	19.958.585,34		2014	44.522,83	15.917.841,41	3.996.221,10
2015	19.958.255,29		2015	44.513,93	15.917.662,77	3.996.078,59
2016	20.193.808,95		2016	44.647,64	16.042.352,72	4.106.808,59
2017	20.252.758,86		2017	44.665,47	16.058.916,14	4.149.177,25
2018	20.357.741,76		2018	45.413,92	16.130.881,32	4.181.446,52
2019	20.484.979,20		2019	47.000,23	16.185.319,35	4.252.659,62
2020	20.581.709,15		2020	47.846,70	16.257.650,43	4.276.212,02
2021		20.734.454,81				
2022		20.854.142,95	var.%	-12,37%	17,81%	23,73%
2023		20.973.831,09	Ha	-6.753,48	2.458.099,12	820.093,71
2024		21.093.519,23				
2025		21.213.207,37				
2030		21.811.648,08				
2035		22.410.088,78				
2040		23.008.529,48				
2045		23.606.970,18				
2050		24.205.410,89				

TABELLA A3: ESTENSIONI “COPERTURA ARBOREA” PER BORNEO E SUE REGIONI. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA IN FIGURA 17

Anni	Copertura arborea - dati reali	Copertura arborea - previsioni future	Anni	Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia
1992	52.908.371,40		1992	497.356,95	36.773.736,52	15.637.277,93
1993	52.908.231,50		1993	497.356,95	36.773.685,51	15.637.189,04
1994	52.907.928,56		1994	497.348,03	36.773.587,23	15.636.993,30
1995	52.511.461,10		1995	496.813,46	36.435.691,77	15.578.955,87
1996	52.492.284,28		1996	496.938,22	36.393.277,41	15.602.068,65
1997	52.314.174,10		1997	496.608,47	36.239.420,75	15.578.144,88
1998	51.797.781,19		1998	495.779,71	35.755.412,44	15.546.589,04
1999	51.500.650,03		1999	495.637,04	35.529.276,81	15.475.736,18
2000	51.380.590,57		2000	495.512,31	35.489.504,07	15.395.574,19
2001	51.522.228,07		2001	499.388,40	35.639.093,44	15.383.746,23
2002	51.505.960,04		2002	499.931,89	35.619.507,53	15.386.520,62
2003	51.430.266,37		2003	503.086,23	35.493.544,45	15.433.635,69
2004	51.389.055,33		2004	504.306,97	35.461.541,66	15.423.206,70
2005	51.244.454,50		2005	504.761,33	35.353.922,83	15.385.770,34
2006	51.116.880,46		2006	505.010,83	35.196.071,50	15.415.798,13
2007	50.704.796,49		2007	505.750,43	34.857.309,91	15.341.736,15
2008	50.424.119,79		2008	506.008,81	34.649.192,63	15.268.918,35
2009	50.346.373,97		2009	506.267,12	34.627.336,43	15.212.770,42
2010	49.971.432,72		2010	506.338,42	34.353.898,32	15.111.195,98
2011	49.718.537,82		2011	506.463,23	34.169.706,12	15.042.368,47
2012	49.478.729,33		2012	506.267,21	34.005.491,18	14.966.970,94
2013	49.375.706,54		2013	506.890,88	33.932.913,90	14.935.901,76
2014	49.116.303,41		2014	506.765,94	33.803.853,70	14.805.683,77
2015	49.116.187,43		2015	506.757,04	33.803.791,16	14.805.639,23
2016	48.631.677,19		2016	506.347,12	33.468.705,64	14.656.624,43
2017	48.514.680,82		2017	506.293,66	33.410.383,62	14.598.003,54
2018	48.306.644,66		2018	505.438,28	33.265.750,04	14.535.456,34
2019	48.100.216,80		2019	502.479,84	33.167.678,08	14.430.058,88
2020	47.960.294,20		2020	501.285,91	33.062.645,79	14.396.362,50
2021		47.620.501,07				
2022		47.377.200,73	var.%	0,79%	-10,09%	-7,94%
2023		47.129.866,10	Ha	3.928,96	-3.711.090,73	-1.240.915,43
2024		46.878.497,18				
2025		46.623.093,96				
2030		45.285.563,42				
2035		43.847.175,50				
2040		42.307.930,19				
2045		40.667.827,49				
2050		38.926.867,41				

TABELLA A4: ESTENSIONI “VEGETAZIONE RADA” PER BORNEO E SUE REGIONI. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA IN FIGURA 19

Anni	Vegetazione rada - dati reali	Vegetazione rada - previsioni future	Anni	Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia
1992	362.947,81		1992	418,74	353.873,34	8.655,73
1993	362.929,95		1993	418,74	353.855,48	8.655,73
1994	362.929,95		1994	418,74	353.855,48	8.655,73
1995	369.502,40		1995	418,74	360.499,35	8.584,31
1996	371.600,13		1996	418,74	362.463,93	8.717,46
1997	377.441,54		1997	418,74	368.242,94	8.779,86
1998	387.856,07		1998	418,74	378.523,92	8.913,41
1999	391.168,60		1999	498,93	381.631,53	9.038,14
2000	391.758,11		2000	481,11	382.185,34	9.091,66
2001	393.275,67		2001	481,11	383.667,16	9.127,40
2002	394.275,46		2002	481,11	384.381,29	9.413,06
2003	398.134,51		2003	481,11	388.222,16	9.431,24
2004	400.884,17		2004	481,11	389.418,68	10.984,38
2005	404.285,91		2005	472,20	391.098,09	12.715,62
2006	411.339,25		2006	481,11	397.117,34	13.740,80
2007	429.522,90		2007	481,11	412.731,92	16.309,87
2008	447.578,22		2008	481,11	421.772,17	25.324,94
2009	476.552,63		2009	427,65	441.221,66	34.903,32
2010	494.112,08		2010	436,56	451.898,31	41.777,21
2011	519.968,32		2011	463,28	476.897,30	42.607,74
2012	533.026,80		2012	463,28	489.617,10	42.946,42
2013	542.271,56		2013	463,28	498.292,29	43.515,99
2014	568.707,03		2014	463,28	523.092,53	45.151,22
2015	568.689,23		2015	463,28	523.092,53	45.133,42
2016	702.099,56		2016	490,02	655.704,84	45.904,70
2017	714.804,31		2017	490,02	667.901,56	46.412,73
2018	731.001,79		2018	490,02	683.627,22	46.884,55
2019	751.852,83		2019	490,02	702.993,48	48.369,33
2020	759.754,96		2020	490,02	710.547,84	48.717,10
2021		816.726,86				
2022		855.211,71				
2023		895.270,77				
2024		936.904,04				
2025		980.111,53				
2030		1.219.762,23				
2035		1.498.768,32				
2040		1.817.129,81				
2045		2.174.846,69				
2050		2.571.918,96				
			var.%	17,02%	100,79%	462,83%
			Ha	71,28	356.674,50	40.061,37

TABELLA A5: ESTENSIONI “AREE URBANE” PER BORNEO E SUE REGIONI. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA IN FIGURA 21

Anni	Aree urbane - dati reali	Aree urbane - previsioni future
1992	70.667,24	
1993	72.054,65	
1994	73.506,96	
1995	75.087,84	
1996	76.903,49	
1997	78.998,87	
1998	82.218,63	
1999	85.260,74	
2000	89.639,57	
2001	90.662,11	
2002	92.090,85	
2003	94.156,84	
2004	95.898,14	
2005	101.131,46	
2006	103.947,77	
2007	107.234,93	
2008	110.292,79	
2009	113.162,32	
2010	116.264,30	
2011	119.501,48	
2012	123.060,66	
2013	133.399,55	
2014	142.623,04	
2015	145.677,57	
2016	152.401,24	
2017	155.942,75	
2018	163.079,63	
2019	165.945,15	
2020	171.613,80	
2021		179.388,87
2022		185.982,21
2023		192.768,72
2024		199.748,38
2025		206.921,21
2030		245.682,73
2035		289.273,24
2040		337.692,74
2045		390.941,23
2050		449.018,71

Anni	Brunei Darussalam	Indonesia	Malaysia
1992	1.461,05	37.326,41	31.879,78
1993	1.461,05	37.699,14	32.894,46
1994	1.469,96	38.101,19	33.935,81
1995	1.532,33	38.539,05	35.016,46
1996	1.585,79	39.288,44	36.029,26
1997	1.674,89	40.164,15	37.159,83
1998	1.746,16	41.989,29	38.483,18
1999	1.781,79	43.621,99	39.856,96
2000	1.879,80	46.192,38	41.567,39
2001	1.959,97	46.308,59	42.393,55
2002	2.040,15	46.710,67	43.340,03
2003	2.182,70	47.246,76	44.727,38
2004	2.387,59	47.544,15	45.966,40
2005	3.483,41	48.381,71	49.266,34
2006	3.857,56	49.337,72	50.752,49
2007	4.588,02	50.272,74	52.374,17
2008	5.113,64	51.254,40	53.924,75
2009	5.648,12	52.320,41	55.193,79
2010	6.307,35	53.769,79	56.187,16
2011	6.850,77	55.376,50	57.274,21
2012	7.358,52	57.251,15	58.450,99
2013	8.338,41	64.525,45	60.535,69
2014	9.122,35	71.464,00	62.036,69
2015	9.336,16	73.662,25	62.679,16
2016	9.647,94	77.575,07	65.178,23
2017	9.968,67	79.360,56	66.613,52
2018	10.137,91	85.329,11	67.612,61
2019	10.039,93	88.152,03	67.753,19
2020	10.164,66	92.840,20	68.608,94
var.%	595,71%	148,73%	115,21%
Ha	8.703,61	55.513,79	36.729,16

RINGRAZIAMENTI

Mi è doveroso dedicare questo spazio della mia tesi a tutte le persone che mi hanno supportato nel mio percorso universitario.

Per prima cosa, vorrei ringraziare il mio relatore Dr. Lorenzo Rossi, per i suoi preziosi consigli e per la sua disponibilità. Grazie per avermi fornito spunti fondamentali nella stesura di questo lavoro e per avermi indirizzato nei momenti di indecisione.

Ringrazio mio papà Giovanni per il suo supporto, non con parole ma con fatti, che da sempre mi aiuta e dà l'esempio da seguire, senza di lui avrei dovuto rinunciare a molto di più durante questo periodo di università e lavoro.

Ringrazio mia mamma Palma, i miei suoceri Irene e Romeo e mio fratello Stefano e famiglia per aver accolto mio figlio Massimo nelle loro case tutte le volte che ho avuto bisogno di una mano.

Ringrazio il mio amico di sempre Rocco che ha saputo incastrare i suoi impegni e i miei per condividere momenti in montagna necessari per ricaricare il morale e la motivazione.

Ringrazio Silvestro, un nuovo amico, che con la sua costante presenza e utili consigli mi ha aiutato ad affrontare le difficoltà di questo percorso.

Ringrazio Fabrizio e Rosanna, studenti del corso di Edolo, sempre gentili e disponibili nel fornirmi informazioni di ogni tipo.

Ringrazio tutti quelli che almeno una volta si sono interessati al mio percorso di studi e che mi hanno dato un incoraggiamento a non mollare.

Per ultimi, ma più importanti, ringrazio mia moglie Martina e mio figlio Massimo con cui so di avere un debito incolmabile, il tempo sottratto alla nostra vita insieme. Vi ringrazio per non avermelo fatto pesare, ma anzi, per avermi supportato nei momenti più impegnativi, Martina sempre presente ed incrollabile e Massimo paziente e comprensivo nonostante la tenera età. So di non poter restituire il tempo passato ma mi impegnerò a rendere il tempo futuro insieme migliore e mai scontato.

Voglio menzionare anche il piccolissimo Marzio, con noi da un paio di mesi, ma nei nostri pensieri già da un anno, perché ha contribuito a darmi la motivazione necessaria a concludere questo percorso nei tempi previsti e nel modo migliore.