

LEXAMBIENTE

RIVISTA TRIMESTRALE
DI DIRITTO PENALE DELL'AMBIENTE
ISSN 2612-2103



NUMERO 2\2020

- Pandemie e perdita di habitat: quale il nesso? di R. CABRINI - E. MORI - F. BOZZEDA
- La responsabilità per omesso impedimento di reati in materia edilizia e ambientale: un contributo allo studio delle posizioni di garanzia nella giurisprudenza di R. GERMANO
- L'inquinamento luminoso approda in Cassazione di R. BONFANTI
- L'imputazione della responsabilità degli enti nei reati ambientali di G. LIBERATI
- La legittimità costituzionale dell'art. 452-quaterdecies, ult. co., c.p. e il suo rapporto con l'art. 452-undecies c.p. di C. INGRAO
- Confisca urbanistica e prescrizione del reato di lottizzazione abusiva. Dal consolidamento della condanna "in senso sostanziale" all'interpretazione estensiva dell'art. 578-bis c.p.p. di M. PIERDONATI
- FOCUS "La legge sugli ecoreati 5 anni dopo: un primo bilancio" con M. CATENACCI - P. FIMIANI - R. LOSENGO - A. MANNA



Pandemie e perdita di habitat: quale il nesso?

Pandemics and habitat loss: what is the link?

di Riccardo CABRINI, Emiliano MORI e Fabio BOZZEDA

Abstract. Il nostro pianeta ospita una vasta diversità biologica in grado di creare ecosistemi complessi che comprendono individui, popolazioni e strette relazioni. Anche se la diversità biologica evolve su lunghi periodi, è certo che le pressioni antropiche hanno effetti nel breve periodo. Gli effetti sono quantificabili sulla distribuzione e numero di specie viventi e sulla stabilità degli ecosistemi. Un elevato numero di lavori scientifici correla l'insorgenza di pandemie con la perdita di habitat e la distruzione degli ecosistemi da parte dell'uomo. La pressione umana sul nostro pianeta sta conducendo gradualmente a un degrado ambientale senza precedenti, a cui si associano cambiamenti climatici e disuguaglianze sociali. Il crescente inquinamento, la deforestazione, l'urbanizzazione e le emissioni di gas serra hanno messo a dura prova la resilienza del nostro pianeta. Molti studi hanno già dimostrato che l'attuale pandemia COVID-19 sia attribuibile al cosiddetto salto di specie o spillover, ossia il passaggio di un virus da una specie animale all'uomo, alla concomitante capacità del virus di replicarsi all'interno del nuovo ospite ed infine alla capacità del virus di passare da un nuovo ospite all'altro. È nostra opinione e di numerosi altri scienziati che sia necessario considerare lo stato degli habitat e la loro biodiversità come fattori che condizionano la probabilità di avere uno spillover. Possiamo affermare in linea generale che per abbassare la probabilità di avere uno spillover è auspicabile condurre politiche di conservazione degli habitat e di mantenimento della biodiversità locale.

Abstract. Our planet hosts a vast biological diversity capable of creating complex ecosystems, including individuals, populations and close relationships. Although biological diversity evolves over long periods, it is certain that anthropogenic pressures have effects in the short term. The effects are quantifiable on the distribution and abundance of living species and on the ecosystem stability. A large number of scientific works correlates pandemic onsets with the habitat loss and the destruction of ecosystems by humans. Human pressure on our planet is gradually leading to environmental degradation, associated with climate change and social inequalities. Increasing pollution, deforestation, urbanization and greenhouse gas emissions have severely tested the resilience of our planet. Many studies have already shown that the current COVID-19 pandemic is attributable to the spillover, that is the passage of a virus from one species to another, to the concomitant ability of the virus to replicate within the new host, and finally to the ability of the virus to pass from one new host to another. It is our opinion and of many other scientists that it is necessary to consider the habitat states and their biodiversity as factors that influence the probability of having a spillover. We can generally say that in order to lower the probability of having a spillover it is desirable to conduct policies for habitat conservation and the maintenance of local biodiversity



Parole chiave: spillover, pandemia, biodiversità, habitat, inquinamento, cambiamento climatico, pressione antropica, perdita di habitat

Key words: spillover, pandemic, biodiversity, habitat, pollution, climate change, anthropogenic pressure, habitat loss

SOMMARIO: 1. 1. Introduzione - 1.1 Il significato del termine biodiversità - 1.2 La perdita di biodiversità e la perdita di habitat - 2. Pandemie presenti e passate - 3. La relazione tra pandemie e perdita di habitat. I dati - 4. Lo spillover - 5. Prospettive future - 6. Bibliografia

1. Introduzione

1.1 Il significato del termine biodiversità

La terra ospita una vasta diversità biologica che include milioni di specie conosciute, una ricchezza di genomi, meccanismi fisiologici, e comportamenti. Questa diversità biologica di piante, animali e microrganismi crea ecosistemi complessi che comprendono individui, popolazioni e strette relazioni (Ann. N.Y. Acad. Sci, 2006).

I vari livelli di diversità sono il risultato di oltre 3 miliardi di anni di continua evoluzione. Secondo uno studio, pubblicato su Plos Biology nel 2011 (Mora et al., 2011), le specie, oltre 1,5 milioni, sono in costante aumento con nuove descrizioni e scoperte (Christenhusz & Byng, 2016; Fisher et al., 2018). Circa 10 milioni sono le specie che si pensa siano ancora da scoprire sul nostro pianeta. Le specie sono ripartite come rappresentato in tabella 1.



Tab. 1 – Ripartizione delle specie secondo lo studio di Mora et al. (2011).

	<i>Terrestri</i>		<i>Marine</i>	
	<i>Riconosciute</i>	<i>Stimate</i>	<i>Riconosciute</i>	<i>Stimate</i>
<i>Eucarioti</i>	1.233.500	8.740.000	193.756	2.210.00
<i>Procarioti</i>	10.860	10.100	653	1320
<i>Totale</i>	1.244.360	8.750.00	194.409	2.210.00

Il termine “biodiversità”, abbreviazione di diversità biologica, è stato coniato nel 1988 dall’entomologo americano Edward O. Wilson. Wilson definisce la biodiversità come la ricchezza di vita sulla Terra a tutti i suoi livelli di organizzazione, dai geni agli ecosistemi, comprendendo dunque i milioni di piante, animali e microrganismi, il loro DNA e i biomi in cui essi vivono (Wilson, 1988). Questa varietà non si riferisce solo alla forma e alla struttura degli esseri viventi, ma include anche la diversità intesa come abbondanza, distribuzione e interazione tra le diverse componenti del sistema.

In altre parole, all’interno degli ecosistemi convivono ed interagiscono fra loro sia gli esseri viventi sia le componenti fisiche ed inorganiche, influenzandosi reciprocamente. La biodiversità, quindi, esprime il numero, la varietà e la variabilità degli organismi viventi e come questi varino da un ambiente ad un altro nel corso del tempo.

1.2 La perdita di biodiversità e la perdita di habitat

Anche se la diversità biologica evolve su lunghi periodi, siamo ormai più che certi che le pressioni antropiche hanno effetti senza precedenti nel breve periodo. Gli effetti sono quantificabili sulla distribuzione e numero di specie viventi e sulla stabilità degli ecosistemi.

L’attuale perdita di biodiversità è superiore al tasso naturale di estinzione. Inoltre, decine di migliaia di altre specie sono già condannate all’estinzione su una scala temporale umana (Johnson et al., 2017). Attualmente è stato appurato che la velocità con cui le specie viventi si stanno estinguendo è oggi tra 100 e 1.000 volte più elevata di quella che si avrebbe senza l’influenza dell’uomo, ed è in continuo aumento (Unida, 2007).



Possiamo fare un esempio italiano: secondo la Lista Rossa IUCN (International Union for Conservation of Nature) delle 672 specie di vertebrati valutate (576 terrestri e 96 marine), 6 sono estinte in tempi recenti (Tabella 2). Le specie minacciate di estinzione sono un totale di 161 (138 terrestri e 23 marine), pari al 28% delle specie valutate (Rondinini et al., 2013).

Tab. 2 - Riepilogo della Lista Rossa IUCN relativa ai vertebrati

Categoria Red List IUCN *	Specie terrestri	Specie marine
Estinto	6	0
In pericolo critico	17	12
In pericolo	42	7
Vulnerabile	79	4
Quasi minacciata	50	3
Minor preoccupazione	254	17
Dati insufficienti	27	38
Non applicabile	101	15
Totale	576	96

* *Estinto*: quando l'ultimo individuo della specie è deceduto. *In pericolo critico*: quando la popolazione di una specie è diminuita del 90% in dieci anni o quando il suo areale si è ristretto sotto i 100 km² o il numero di individui riproduttivi è inferiore a 250. *In pericolo*: quando la popolazione di una specie è diminuita del 70% in dieci anni o quando il suo areale si è ristretto sotto i 5.000 km²



o il numero di individui riproduttivi è inferiore a 2.500. **Vulnerabile**: quando la popolazione di una specie è diminuita del 50% in dieci anni o quando il suo areale si è ristretto sotto i 20.000 km² o il numero di individui riproduttivi è inferiore a 10.000. **Quasi minacciata**: quando i suoi valori non riflettono ma si avvicinano in qualche modo ad una delle descrizioni riportate sopra. **Minor preoccupazione**: quando i suoi valori non riflettono in alcun modo una delle descrizioni di cui sopra, specie abbondanti e diffuse. **Dati insufficienti**: quando non esistono dati sufficienti per valutare lo stato di conservazione della specie. **Non valutata**: specie non valutata.

La perdita di biodiversità è causata principalmente da fattori economici e demografici, e in particolare dalla crescente domanda di suolo e risorse, elementi necessari al sostentamento della produzione globale e della crescita della popolazione umana, o più in generale per il sostentamento dell'economia mondiale. Altri fattori riconosciuti come responsabili della perdita di biodiversità sono la frammentazione e la degradazione degli ambienti naturali, attraverso lo sfruttamento eccessivo delle risorse, l'introduzione di specie aliene, l'inquinamento atmosferico e non da ultimo dal cambiamento climatico globale (Johnson et al., 2017).

La perdita di habitat è tuttora la più grande minaccia alla biodiversità (Brooks et al. 2002; Hanski 2005; Groom et al. 2006). Secondo il Millennium Ecosystem Assessment (2005), oltre la metà dei biomi terrestri, tra cui le foreste mediterranee e temperate e le foreste tropicali e subtropicali secche, hanno iniziato ad essere profondamente modificate fin dal 1990. Oggi siamo certi che sta continuando la conversione degli habitat naturali in terreni agricoli, pascoli, piantagioni, aree costruite e adibite a infrastrutture, sotto la spinta dall'aumento della popolazione umana e dall'accelerazione della domanda di risorse (Hanski, 2011).

Sono diverse le pubblicazioni che dimostrano come la perdita di habitat, intesa come frammentazione degli spazi naturali, porti ad un impoverimento delle comunità biologiche, sia esse vegetali o animali (Brooks et al, 2002; Fahrig, 2003, Gyllenberg et al., 2002; Hanski, 2011; Heino and Hanski, 2001; Ronce and Olivieri, 2004).

2. Pandemie presenti e passate

Partendo dall'anno 430 a.C. riportiamo la storia delle pandemie che la storia dell'uomo ha documentato.

La febbre tifoide del Peloponneso del 430 a.C. uccise un quarto della popolazione, nel giro di quattro anni. Il termine "tifo" fu utilizzato per la prima volta da Ippocrate del 460 a.C. per indicare il delirio provocato da alcune malattie che portavano febbre molto alta. La febbre tifoide è causata



dal batterio *Salmonella enterica sierovariante typhi* (*Salmonella typhi*). L'uomo è l'unico vettore della malattia che, se non trattata, ha un tasso di mortalità superiore al 10% (Roger and Tarpley, 1985).

Tra il 165-180, tra le truppe dell'Impero Romano sotto il controllo di Marco Aurelio si diffuse un'epidemia di vaiolo, al tempo chiamata peste antonina o peste di Galeno. La malattia fu descritta appunto dal medico Galeno che raccolse numerose informazioni direttamente sulle truppe di ritorno da Oriente. Il vaiolo è una malattia infettiva causata dal virus Variola, nelle sue varianti *Variola maior* e *Variola minor*. (Gilliam, 1961; Ryan and Ray, 2004).

Il Morbo di Giustiniano viene datato nell'anno 541 e fu la prima pandemia documentata di peste bubbonica. La peste bubbonica è una malattia di origine batterica causata dal bacillo *Yersinia pestis*. È una zoonosi, i cui vettori verso l'uomo sono varie specie di roditori. I roditori vengono infettati da *Xenopsyllacheopsis* la cosiddetta pulce dei ratti (*Xenopsyllacheopsis*), Partendo dall'Egitto giunse fino a Costantinopoli. (Achtman et al., 2004)

Ottocento anni dopo la strage di Costantinopoli, la peste bubbonica fece il suo ritorno dall'Asia in Europa. Nel 1346 fu portata in Europa orientale dai Tartari che assediavano la colonia genovese di Feodosia in Crimea (McNeill, 2012).

La pandemia di tifo colpì per la prima volta l'Europa nel 1489. Furono decine di migliaia le vittime tra Francia, Italia, regioni balcaniche e Russia. Il tifo si diffuse e provocò migliaia di vittime nei campi di concentramento nazisti durante la Seconda guerra mondiale.

Svariate furono le pandemie di colera nella storia. Il colera è una malattia enterica causata dal vibrione *Vibrio cholerae*. Riportiamo di seguito le sei principali epidemie di colera nella storia:

- 1816-1826: India, Bengala, Cina e Mar Caspio;
- 1829-1851: si diffuse dall'Europa nel 1832 a Londra e proseguì in Canada e Stati Uniti;
- 1852-1860: principalmente diffusa in Russia, fece più di un milione di morti;
- 1863-1875: diffusa principalmente in Europa e Africa;
- 1899-1923: ebbe poco effetto sull'Europa grazie anche ai progressi nella salute pubblica; la Russia ne fu di nuovo colpita duramente;
- 1960-1966: l'epidemia chiamata El Tor colpì l'Indonesia, raggiunse il Bangladesh nel 1963, l'India nel 1964, e l'Unione Sovietica nel 1966.



Tra il 1918 e il 1920, l'influenza spagnola uccise decine di milioni di persone nel mondo. La spagnola fu una pandemia influenzale, insolitamente mortale ed è conosciuta come la prima delle pandemie del XX secolo che coinvolgono il virus dell'influenza A, sottotipo H1N1. Ne esistono numerose varianti che causano forme influenzali pandemiche negli animali e negli umani (Lipsitch et al., 2009).

Tra il 1957 e il 1960, si diffuse l'influenza asiatica che fece circa due milioni di morti. L'asiatica fu causata da un virus dell'influenza H2N2 generato dal riassortimento del virus H1N1 umano precedentemente circolante e da un virus H2N2 aviario. L'asiatica si manifestò stagionalmente fino al 1968. Fu isolato per la prima volta in Cina nel 1954. Nello stesso anno fu preparato un vaccino che riuscì a limitare il diffondersi della malattia negli anni a seguire. Più tardi l'H2N2 mutò nel virus A/H3N2 che causò l'influenza di Hong Kong negli anni 1968-1969 (Scholtissek et al., 1978).

Circa 60 milioni di uomini, donne e bambini sono stati infettati dal virus dell'immunodeficienza umana (HIV: Human Immunodeficiency Virus). La pandemia si fa iniziare formalmente il 5 giugno 1981, quando i Centri statunitensi per il controllo e la prevenzione delle malattie (CDC) hanno riportato cinque casi di polmonite causata da *Pneumocystis jirovecii* (allora chiamata *Pneumocystis carinii*). Altre malattie da immunodeficienza furono presto segnalate in diverse popolazioni di molti paesi, tra cui Haiti e alcuni paesi africani. Nel maggio 1983, un retrovirus (che in seguito fu chiamato virus dell'immunodeficienza umana o HIV) fu isolato da un paziente con AIDS (sindrome da immunodeficienza acquisita) (Merson et al., 2008). Dal 1996 una terapia farmacologica blocca il decorso della sindrome immunodepressiva (per lo meno in quei Paesi in cui i malati possono accedere ai farmaci), ma non elimina il virus dai corpi degli individui (Sharp and Hahn, 2011).

L'influenza A H1N1 che si diffuse tra il 2009 e il 2010. L'origine fu identificata in alcuni allevamenti di maiali in Messico e per tale motivo viene comunemente denominata "influenza suina". L'espansione dell'iniziale epidemia messicana fu rapida: in soli 2 mesi colpì quasi 80 Paesi. Nell'area europea e mediterranea, i casi accertati erano circa 50.000 con poco più di 100 vittime.

COVID-19 è il nome della malattia respiratoria, causata dal coronavirus SARS-CoV-2, con origine a Wuhan (Cina) e che si è diffusa rapidamente in tutto il resto del mondo nel 2020. È la prima epidemia ad essere dichiarata pandemia dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) dopo la pubblicazione delle linee guida del 2009. OMS dichiara l'1 luglio 10.268.839 casi confermati nel mondo dall'inizio dell'epidemia e 506.064 morti.



3. La relazione tra pandemie e perdita di habitat. I dati

Alcuni lavori scientifici hanno cercato di correlare l'*outbreak* di patologie epidemiche o pandemiche con la distruzione degli ecosistemi da parte dell'uomo e la pressione sull'ambiente naturale (i.a. Allen, 2017; Jones, 2008; Keesing, 2010). La pressione umana sul pianeta Terra sta conducendo gradualmente a un degrado ambientale senza precedenti, a cui si associano cambiamenti climatici, disuguaglianze sociali e altre conseguenze nefaste. Il crescente inquinamento, la deforestazione, l'urbanizzazione e le emissioni di gas serra hanno messo a dura prova la resilienza del nostro pianeta (Cazzolla Gatti, 2020). Il drammatico sfruttamento delle risorse naturali da parte dell'uomo è stato necessario per tenere il passo con la crescita esponenziale della popolazione, con uno *shift* dell'alimentazione globale verso un maggiore consumo di prodotti di origine animale e con una conseguente maggiore richiesta di energia. Secondo il lavoro di Di Marco et al. (2020), ogni piano di futuro sviluppo sostenibile dovrebbe mettere in conto il problema dell'insorgenza di patologie legate alla distruzione dell'habitat. Infatti, è stata mostrata una correlazione diretta tra l'insorgenza di patologie epidemiche (come la malaria e il dengue) e fenomeni di deforestazione e cambiamento climatico (Yasuoka & Levins, 2007; Colon-Gonzalez et al., 2013). Le malattie infettive emergenti come l'Ebola, la SARS, la MERS e il SARS-CoV-2019 causano mortalità e morbilità su larga scala, interrompono le reti commerciali e di viaggio e stimolano disordini civili (Pike et al., 2014). Il numero di specie di microrganismi sulla Terra è il più elevato di tutta la diversità biologica ma, a dispetto di questo, solo una percentuale molto ridotta può infettare le persone e causare malattie. Coerentemente, la biodiversità dei microrganismi sembra essere correlata con la diversità di potenziali specie ospite di infezioni zoonotiche, che a sua volta aumenta con la ricchezza delle specie di mammiferi. Pertanto, mentre la perdita e la frammentazione dell'habitat possono ridurre localmente la diversità delle specie, l'invasione dell'habitat da parte delle persone in aree ricche di specie può aumentare l'esposizione a nuovi agenti infettivi (Wilkinson et al., 2018). Una maggiore frammentazione dell'habitat sembra incrementare intrinsecamente il rischio di esposizione microbi per tutti i sistemi biologici modellizzati da Wilkinson et al. (2018). In questo contesto, sembra che l'Africa Equatoriale, il Sud Est Asiatico e il Sud America siano aree particolarmente a rischio. Ad esempio, il virus Ebola provoca una forma contagiosa, grave e spesso letale di febbre emorragica negli esseri umani. L'associazione dei focolai di Ebola con la distruzione delle foreste è stata ampiamente suggerita e i modelli statistici sembrano confermare che il verificarsi di un focolaio in un sito è legato a recenti eventi di deforestazione e che prevenire la perdita di foreste potrebbe ridurre le probabilità di infezione (Olivero et al., 2017; Rulli et al., 2017).

Non risulta sorprendente dunque che ci sia un legame tra l'insorgenza del COVID-19 e le relazioni tra uomo e fauna: il coronavirus sarebbe stato trasmesso all'uomo a partire dai chiroteri, passando per un ospite intermedio, molto probabilmente un pangolino malese (Lam et al., 2020). La distruzione dell'ambiente associata ai grandi spostamenti delle merci e della specie umana avrebbe



dunque creato la perfetta situazione per l'insorgenza di una pandemia su scala globale, come quella del coronavirus.

4. Lo spillover

E' dimostrato che l'origine della pandemia COVID-19 in corso sia attribuibile al cosiddetto salto di specie o spillover, ossia il passaggio di un virus da una specie animale all'uomo, la concomitante capacità del virus di replicarsi all'interno del nuovo ospite ed infine la capacità del virus di passare da un nuovo ospite all'altro (Arora e Mishra, 2020).

Il passaggio di un virus dall'animale all'uomo è definibile come una variabile categorica (si tratta cioè di una variabile binaria che può assumere valore 1 se avviene il passaggio e valore 0 se non avviene). Al contrario la capacità di replicazione all'interno dell'ospite e capacità di passare da un ospite ad un altro sono invece variabili quantitative che assumono valori numerici continui e misurabili. Tali variabili sono strettamente legate alla specie virale e per tale motivo invariabili e difficilmente gestibili.

Hans Heesterbeek in un lavoro pubblicato su Science nel 2015 (Heesterbeek et al., 2015) spiega come le pandemie da spillover possano essere spiegate da tre fattori: la presenza o meno di uno spillover, la capacità di replicazione di un virus all'interno di un ospite e la contagiosità della malattia causata dal virus. Proponiamo di seguito un modello semplificato per illustrare la potenziale magnitudo di una pandemia da spillover che può essere descritta come di seguito:

$$M = S \cdot I \cdot E$$

in cui M è la magnitudo potenziale, S è la variabile binaria (0, 1) che indica lo spillover, I indica la capacità di replicazione all'interno dell'ospite ed E indica la contagiosità ossia la capacità del virus di passare da un ospite all'altro.

In particolare lo spillover (S), ossia la variabile che innesca il fenomeno pandemico, appare connessa con la perdita di habitat e con l'aumentata frequenza dei contatti fra uomo e specie animali sin qui isolate.



Lo spillover può essere definito anche probabilisticamente, può cioè assumere, coerentemente con la definizione binaria, valori compresi fra 0 e 1. Possiamo in tal senso definire lo spillover:

- rispetto ad una singola specie animale secondo la stabilità dell'habitat e della sua biodiversità e della frequenza dei contatti con l'uomo;
- come fenomeno potenziale senza legarlo a nessuna specie in particolare. In questo caso le variabili da considerare sarebbero la perdita di habitat alla scala desiderata e, di nuovo, dalla frequenza dei contatti con l'uomo.

Potenzialmente il fenomeno non è così poco frequente come si crede, e attualmente ci sono le condizioni di connettività perché il virus con caratteristiche I ed E appropriate produca un'epidemia e si evolva in pandemia. Infatti gli esperti del settore, da tempo, viste le epidemie di Sars e Mers, indicavano i coronavirus come i principali candidati per una pandemia (Han et al., 2015). In quei casi però le caratteristiche intrinseche dei coronavirus di Sars e Mers (I ed E nel nostro modello semplificato) non erano quelle appropriate per lo scoppio di una pandemia. Ne consegue che un controllo di questi fenomeni non può non partire dal parametro S mentre i parametri I ed E sono intrinseci dei virus e non modificabili dall'uomo se non con cure adeguate e vaccini adatti, ma comunque sempre a posteriori dell'evento pandemico. Un approccio preventivo non può quindi non partire dalla riduzione della probabilità di accadimento di S ossia dalla riduzione della frequenza di contatto fra gli esseri umani e specie potenziali portatrici di virus adatti al salto di specie. Con l'obiettivo di abbassare il valore del parametro S, è necessario considerare che lo stato degli habitat e la loro biodiversità condizionano la possibilità di avere uno spillover. Possiamo affermare in linea generale che per abbassare la probabilità di avere uno spillover è auspicabile condurre politiche di conservazione degli habitat e di mantenimento della biodiversità locale (Poudel, 2020; Field et al., 2004).

5. Prospettive future

Partendo dal modello semplicistico qui presentato emerge come il controllo rispetto a fenomeni di spillover possa essere effettuato solamente rispetto al primo parametro considerato, ossia l'accadimento dell'evento di spillover. Banalmente la realizzazione dell'evento dipende dalla frequenza dei contatti:

- diretti fra specie potenzialmente portatrici di nuovi virus e l'uomo



- indiretti, fra specie potenzialmente portatrici di nuovi virus e specie i cui contatti con gli esseri umani sono già frequenti.

Le frequenze di entrambi i tipi di contatto (diretto e indiretto) stanno globalmente aumentando a causa della perdita di habitat dovuta all'occupazione di terre incontaminate per l'incremento dei processi produttivi antropici. Un altro importante aspetto da tenere in considerazione è legato alla biodiversità, intesa come numero e distribuzione reciproca di specie. La biodiversità è l'espressione di un equilibrio ecosistemico all'interno del quale le specie si tengono reciprocamente sotto controllo, consolidando uno stato stabile e garantendo i servizi ecosistemici associati allo specifico ecosistema. La perdita, la riduzione o l'aumento demografico di alcune specie a causa delle attività antropiche possono far saltare questo delicato equilibrio favorendo oltre alla perdita di servizi ecosistemici anche la realizzazione di eventi di spillover. Si può quindi affermare che lo stato degli habitat e della biodiversità sono i principali driver da tenere sotto controllo se si vogliono evitare in futuro passaggi di virus da specie animali all'uomo.

È ormai chiaro come le attività e il benessere umano dipendono strettamente dalla salute dell'ambiente e dei servizi ecosistemici. Le attività antropiche sempre più invasive ed i cambiamenti climatici (al netto del nesso di causalità con le attività antropiche stesse) stanno assottigliando la barriera naturale contro lo spillover, ormai da considerare non più come un evento estremo (quindi molto poco probabile), ma come un evento dalla probabilità di accadimento non trascurabile. Inoltre, e l'attualità ce lo sta dimostrando, il mondo globalizzato e sempre più connesso rappresenta il vettore ideale per l'espansione spaziale di un virus che nel mondo di 100 anni fa avrebbe fatto molta più fatica a raggiungere lo status di pandemia.

Futuri modelli predittivi di sviluppo sostenibile dovranno perciò affiancare alla perdita di servizi ecosistemici, anche il rischio di spillover ed il conseguente scoppio di epidemie e pandemie. Ad oggi purtroppo, la perdita dei servizi ecosistemici è considerata dai decisori perché non comporta apparentemente una perdita economica visto il carattere gratuito di tali servizi.

In ottica preventiva è utile sottolineare come la pandemia COVID-19 sia dovuta alla perdita, in un'area relativamente piccola, del servizio ecosistemico di controllo di patogeni potenzialmente dannosi dell'uomo che fin qui era stato garantito dalla stabilità di habitat e biodiversità.

Per il futuro sarebbe inoltre opportuno un cambiamento di paradigma rispetto alle valutazioni effettuate in fase decisionale, quasi tutte di tipo economico in cui ad esempio la perdita di un bosco (e dei servizi ecosistemici ad esso associati) viene valutata come un guadagno netto in relazione alla quantità di oggetti commerciabili (mobili, assi, etc.) che si potrebbero produrre con il legno ricavato ed alle attività che sostituiranno il bosco stesso. Uno sviluppo veramente sostenibile non potrà prescindere da valutazioni riferite ad habitat, biodiversità e dalle reazioni a cascata che una volta innescate possono colpire l'uomo nella sua tessitura sociale e di conseguenza economica.



6. Bibliografia

- Achtman, M., Morelli, G., Zhu, P., Wirth, T. Diehl, I. et al. (2004). Microevolution and history of the plague bacillus, *Yersinia pestis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101 -51.
- Allen, T., Murray, K. A., Zambrana-Torrel, C., Morse, S. S., Rondinini, C., Di Marco, M., et al. (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature Communications*, 8 (1)
- Annals of the New York Academy of Sciences 1081: 1–16 (2006). *New York Academy of Sciences*.
- Arora, N. K., & Mishra, J. (2020). COVID-19 and importance of environmental sustainability. *Environmental Sustainability*, 1.
- Brooks, T.M., Mittermeier, R.A., Mittermeier, et al. (2002). Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology* 16: 909–923.
- Cazzolla Gatti, R. (2020). Coronavirus outbreak is a symptom of Gaia's sickness. *Ecological Modelling*, 426, 109675.
- Christenhusz, M. J., & Byng, J. W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261(3), 201-217.
- Colon-Gonzalez, F.J., Fezzi, C., Lake, I.R., & Hunter, P.R. (2013). The effects of weather and climate change on dengue. *PLoS neglected tropical diseases*, 7, e2503.
- Di Marco, M., Baker, M. L., Daszak, P., De Barro, P., Eskew, E. A., Godde, C. M., Harwood, T.D., Herrero, M., Hoskins, A.J., Johnson, E., Karesh, W. B., Machalaba, C., Navarro Garcia, J., Paini, D., Pirzl, R., Stafford Smith, M., Zambrana-Torrel, C., & Ferrier, S. (2020). Opinion: Sustainable development must account for pandemic risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(8), 3888-3892.
- Fahrig, L. (1997). Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *Journal of Wildlife Management* 61.



- Field, H., Mackenzie, J., & Daszak, P. (2004). Novel viral encephalitides associated with bats (Chiroptera)-host management strategies. In *Emergence and Control of Zoonotic Viral Encephalitides* (pp. 113-121). Springer, Vienna.
- Fisher, M. A., Vinson, J. E., Gittleman, J. L., & Drake, J. M. (2018). The description and number of undiscovered mammal species. *Ecology and evolution*, 8(7), 3628-3635.
- Gilliam, J.F. (1961). The Plague under Marcus Aurelius. *The American Journal of Philology*. Vol. 82, No. 3
- Groom, M.J., Meffe, G.K. and Carroll, C.R. (2006). Principles of conservation biology. Sunderland: Sinauer.
- Gyllenberg, M., Parvinen, K. and Dieckmann, U. (2002). Evolutionary suicide and evolution of dispersal in structured metapopulations. *Journal of Mathematical Biology* 45.
- Han, H. J., Wen, H. L., Zhou, C. M., Chen, F. F., Luo, L. M., Liu, J. W., & Yu, X. J. (2015). Bats as reservoirs of severe emerging infectious diseases. *Virus research*, 205, 1-6.
- Hanski, I. (2011). Habitat Loss, the Dynamics of Biodiversity, and a Perspective on Conservation. *AMBIO* Vol. 40
- Hanski, I. 2005. The shrinking world: Ecological consequences of habitat loss. Oldendorf/Luhe: International Ecology Institute.
- Heesterbeek, H., Anderson, R. M., Andreasen, V., Bansal, S., De Angelis, D., Dye, C., ...& Hollingsworth, T. D. (2015). Modeling infectious disease dynamics in the complex landscape of global health. *Science*, 347(6227)
- Heino, M., and Hanski, I. (2001). Evolution of migration rate in a spatially realistic metapopulation model. *American Naturalist* 157.
- Johnson, CN, Balmford A, Brook BW, Buettel JC, Galetti M, Guangchun L, Wilmshurst JM (2017). *Science* 356, 270–275.
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451 (7181)
- Joseph, U., Linster, M., Suzuki, Y., Krauss, S., Halpin, R.A., et al. (2015). Adaptation of Pandemic H2N2 Influenza A Viruses in Humans. *Journal of Virology* 89 (4)



- Keesing, F., Belden, L. K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C. D., Holt, R. D., et al. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*, 468 (7324)
- Lam, T. T. Y., Shum, M. H. H., Zhu, H. C., Tong, Y. G., Ni, X. B., Liao, Y. S., Wei, W., Li, L.F., Leung, G. M., Holmes, E.C., Hu, Y.L., & Guan, Y. (2020). Identifying SARS-CoV-2 related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*, 1-6.
- Lipsitch, M., L. Finelli, R.T. Heffernan, G.M. Leung, and S.C. Redd (2009). Improving the Evidence Base for Decision Making During a Pandemic: The Example of 2009 Influenza A/H1N1. *Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice, and Science*, Vol. 9, No. 2
- McNeill, W.H. 2012. La peste nella storia. L'impatto delle pestilenze e delle epidemie nella storia dell'umanità, Res Gestae - Milano
- Merson, M. H., O'Malley, J., Serwadda, D., and Apisuk, C. (2008). The history and challenge of HIV prevention. *The Lancet*, 372 (9637)
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington: Island Press.
- Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB, Worm B (2011) How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol* 9(8) – doi:10.1371/journal.pbio.1001127
- Olivero, J., Fa, J. E., Real, R., Márquez, A. L., Farfán, M. A., Vargas, J. M., Gaveau, D., Salim, M.A., Park, D., Suter, J., King, S., Leendertz, S.A., Sheil, D., & Nasi, R. (2017). Recent loss of closed forests is associated with Ebola virus disease outbreaks. *Scientific reports*, 7(1)
- Pike, J., Bogich, T., Elwood, S., Finnoff, D. C., & Daszak, P. (2014). Economic optimization of a global strategy to address the pandemic threat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(52), 18519-18523.
- Poudel, B. S. (2020). Ecological solutions to prevent future pandemics like COVID-19. *Banko Janakari*, 30(1), 1-2.
- Roger, B., Tarpley, J., (1985). Intestinal Perforation in Typhoid Fever: A Historical and State-of-the-Art Review, *Reviews of Infectious Diseases*, Volume 7, Issue 2
- Ronce, O., and Olivieri, I. (2004). Life history evolution in metapopulations. In *Ecology, genetics, and evolution of metapopulations*. Amsterdam: Elsevier Academic Press.



- Rondinini C, Battistoni A, Peronace V, Teofili C (2013). Lista Rossa IUCN dei Vertebrati Italiani. *Comitato Italiano IUCN e Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*, Roma
- Rulli, M. C., Santini, M., Hayman, D. T., & D'Odorico, P. (2017). The nexus between forest fragmentation in Africa and Ebola virus disease outbreaks. *Scientific reports*, 7, 41613.
- Ryan K.J., Ray C.G. , *Sherris Medical Microbiology*, 4th, McGraw Hill, 2004, pp. 525–8
- Scholtissek, C., W. Rohde, V. Von Hoyningen, R. Rott (1978). On the origin of the human influenza virus subtypes H2N2 and H3N2. *Virology*, Volume 87, Issue 1
- Sharp, P.M. and B.H. Hahn (2011). Origins of HIV and the AIDS Pandemic. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*
- Unida S (2007). Le attività umane e la perdita della biodiversità. La sesta estinzione. *Antrocom - Online Journal of Anthropology*. 3
- Unida, S. (2006). Le attività umane e la perdita della biodiversità. La sesta estinzione. *Antrocom*, Vol. 3 n. 1
- Wilkinson, D. A., Marshall, J. C., French, N. P., & Hayman, D. T. (2018). Habitat fragmentation, biodiversity loss and the risk of novel infectious disease emergence. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(149)
- Wilson, E.O. (1988). Biodiversity. *National Academy of Science*, Washington D.C.
- Yasuoka, J., & Levins, R. (2007). Impact of deforestation and agricultural development on anopheline ecology and malaria epidemiology. *The American journal of tropical medicine*