

Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



L'evoluzione dell'attività economica italiana durante la
pandemia di COVID-19: analisi dell'intensità luminosa nelle
immagini satellitari notturne

Relatori:

Prof. Luigi Buzzacchi

Prof. Antonio De Marco

Candidato:

Francesca Piazza

A.A. 2020/2021

*Alla mia famiglia,
senza la quale non sarei arrivata fino
a qui.*

ABSTRACT

Il presente elaborato di tesi si pone come obiettivo quello di valutare l'introduzione di un nuovo indicatore economico, quale l'intensità luminosa delle luci notturne, esaminando la correlazione tra essa e l'attività economica in Italia.

La necessità di prevedere un differente indicatore economico, che si distacca da quelli usuali, nasce dal fatto che gli indici per misurare l'attività economica sono spesso disponibili ad un livello temporale troppo ampio e ad un livello geografico poco specifico. A differenza del PIL, preso qui in esame, le immagini satellitari infatti, sono fruibili quasi in tempo reale, e per aree geografiche più dettagliate.

L'analisi viene effettuata utilizzando le immagini satellitari italiane, rese disponibili dall'Earth Observation Group della Colorado School of Mines, da cui vengono ricavate le luci notturne, in particolare l'intensità luminosa di ciascun *pixel* compreso nell'area presa in considerazione, ed utilizzando le serie storiche del PIL, fruibili, invece, presso l'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) come *proxy* dell'attività economica.

La ricerca prevede una parte in cui si esamina la correlazione tra le due misure prima citate con l'aiuto di qualche statistica descrittiva, per poi passare, grazie all'utilizzo di un software statistico, alle statistiche vere e proprie e a diversi modelli di regressione.

INDICE

<i>ABSTRACT</i>	4
1. INTRODUZIONE	7
2. LE LUCI NOTTURNE IN LETTERATURA	8
1.2 I dati satellitari e l'attività economica	8
1.2 I dati satellitari e la pandemia da Covid-19	12
1. I dati.....	22
2. L'intensità luminosa e i dati della pandemia: statistiche descrittive..	24
2.1 Le luci notturne e il Covid-19 in Italia da febbraio ad ottobre 2020	25
2.2 Le luci notturne e il Covid-19 in Italia da novembre 2020 a marzo 2021	33
3. Correlazione tra intensità luminosa e Pil	45
3.1 I Dati	45
3.2 I risultati	46
4. Correlazione tra intensità luminosa e casi di COVID-19	49
4.1 I dati	49
4.2 I risultati	49
5. Lavori futuri	52
6. Conclusioni.....	53

1. INTRODUZIONE

Questo elaborato si pone come obiettivo quello di esaminare la correlazione tra l'attività economica italiana e l'intensità luminosa delle luci notturne, ponendo, in particolare, un occhio di riguardo alla differenza tra il periodo pre e post pandemico ed ai relativi casi italiani confermati di Covid-19.

La necessità di avere una correlazione tra le luci notturne e gli indicatori economici nasce dal fatto che, a differenza degli indicatori economici tradizionali, quali ad esempio il Prodotto Interno Lordo, preso in esame in questo testo, le luci notturne sono fruibili quasi in tempo reale, per aree geografiche più specifiche e per intervalli di tempo meno ampi, che fanno diventare l'intensità luminosa, un ottimo indicatore dell'attività economica.

Verrà riproposto uno studio relativo all'area geografica del Marocco, che verrà, però, riadattato alla penisola italiana, all'interno del quale viene per l'appunto analizzato il legame esistente tra economia e luci notturne.

Il presente elaborato sarà così strutturato: un primo capitolo di letteratura, in cui verranno raccolte le fila degli articoli scientifici più importanti sull'argomento, quelli che possiamo definire come le pietre miliari delle immagini satellitari e dell'attività economica e per ultimo viene riassunto lo studio dal quale si è partiti per produrre la presente tesi di Laurea.

Nel secondo capitolo, invece, verranno descritti i dati utilizzati e le relative fonti e verrà fatta una prima parte di analisi, in particolare ci saranno le statistiche descrittive delle variabili prima citate.

Il terzo e ultimo capitolo, con le relative conclusioni, infine, tratterà della correlazione vera e propria tra luci notturne e indicatori economici, tramite l'utilizzo di vari modelli di regressione lineare.

2. LE LUCI NOTTURNE IN LETTERATURA

1.2 I dati satellitari e l'attività economica

Gli indicatori disponibili per mappare l'attività economica di un paese sono spesso accessibili a scale geografiche particolarmente ampie (es. nazioni, regioni) e con frequenza temporale ridotta (es. trimestrale, annuale). Per questo motivo, l'analisi dell'intensità luminosa presente nelle immagini satellitari notturne viene sempre più spesso utilizzate come *proxy* dell'attività economica: i dati satellitari da cui derivano le luci notturne, infatti, sono disponibili quasi in tempo reale ed a scale geografiche ben più specifiche di qualsiasi altro indicatore economico tradizionale.

Proprio per i motivi sopra elencati, per sopperire agli errori commessi durante la sua misurazione e dal momento che *“la maggior parte dei cambiamenti interessanti riguardanti il prodotto interno lordo (PIL) avvengono nel paese, invece che tra i paesi”*, Henderson et al. (2012) utilizzano come sostituto del PIL, l'intensità luminosa.

Un altro difetto riguardante gli indicatori economici usuali e, in particolar modo il PIL, è stato portato alla luce da Sutton e Costanza (2002). Nel loro articolo scientifico, il primo riguardante i dati satellitari e l'attività economica che è apparso in una rivista economica, sottolineano come il PIL non possa essere utilizzato come unica fonte per mappare l'attività economica, in quanto esso sì, misura il reddito e le economie commercializzate di un paese, ma non tiene conto del welfare dello stesso. Il PIL non mappa, inoltre, la distribuzione del reddito tra gli individui. I due autori hanno quindi unito indici economici e di welfare tramite due immagini satellitari: le luci notturne come *proxy* del PIL e un dataset di copertura del suolo come *proxy* del *welfare*. La quantità di luce emessa e il prodotto dei servizi dell'ecosistema, derivanti dalle immagini satellitari sopra descritte hanno come “vantaggio il fatto che *possono essere aggiornati contemporaneamente alla rispettiva misura satellitare, hanno una copertura globale diffusa, sono intuitivi e comprensibili*”.

Per quanto riguarda, invece, le fonti di immagini satellitari più comunemente utilizzate nella letteratura scientifica se ne sono occupati Elvidge et al. (2013), analizzando le principali differenze esistenti tra il più datato DMSP ed il moderno VIIRS. Il primo sistema è stato concepito esclusivamente per scopi meteorologici, il secondo è stato invece progettato per raccogliere dati da utilizzare in analisi digitali e modelli numerici. Per analizzare le due fonti di immagini satellitari, gli autori hanno raccolto dati bimestrali da aprile a ottobre di un medesimo anno nell'isola di Oahu (nelle Hawaii) ed hanno oscurato la luce lunare. Tale metodo porta a concludere che il DMSP presenta alcune lacune

che vengono successivamente colmate con il suo successore VIIRS: “*una migliore risoluzione spaziale, una maggiore sensibilità che permette di rilevare anche le luci più fioche, una miglior quantizzazione, gamma dinamica, calibrazione e bande spettrali idonee a discriminare le sorgenti termiche di emissioni luminose*”.

Anche le immagini satellitari da cui si ricavano le luci notturne, però, sono affette da qualche difetto, due fra tutti il *top coding* ed il *blurring*.

Il primo dei due è stato trattato da Bluhm e Krause (2018), i quali affermano che le immagini satellitari sottostimano l'intensità luminosa dei vari pixel analizzati – ossia, sono affette dal cosiddetto *top-coding* – al punto che grandi metropoli come New York o Londra sembrano emettere la stessa quantità di luce di altre città più piccole localizzate negli Stati Uniti o nel Regno Unito. Per aggirare questo problema, gli autori arrivano alla conclusione che le luci notturne possono essere bene approssimate da una distribuzione di Pareto.

Il secondo, invece, è stato analizzato da Abrahams et al. (2018). Gli autori hanno trattato nel loro articolo scientifico il problema della sfocatura (i.e., *blurring*): hanno, infatti, scoperto che la sfocatura segue una distribuzione Gaussiana, simmetrica di diffusione del punto e che ogni pixel contenente una fonte di luce è illuminato almeno tanto quanto quelli che gli stanno vicino, permettendo così di calibrare la dimensione della funzione di diffusione del punto per ogni parte del mondo. Per risolvere il problema, infine, gli autori hanno creato un algoritmo disponibile in Matlab per effettuare il cosiddetto *deblurring* per le immagini provenienti dal DMSP.

All'interno della letteratura non compaiono solamente studi a favore dell'uso delle luci notturne come *proxy* per mappare l'attività economica, bensì, alcuni di essi, ne reindirizzarono l'uso solo ed esclusivamente a specifici campi di applicazione.

Uno tra tutti è l'articolo di Chen e Nordhaus (2011). Gli autori classificano i paesi in una scala da "A" a "D", sulla base della qualità dei loro sistemi statistici, e arrivano alla conclusione che l'intensità luminosa può essere una buona misura dell'attività economica, e può dunque essere usata in aggiunta ai classici indicatori solo per i paesi con un voto inferiore o uguale a "C" (ossia i sistemi statistici con scarsa qualità). Per i paesi con i voti più alti, invece, la scarsa adattabilità dell'uso delle luci notturne ai fini della profilazione economica è dovuta ai grossi errori di misura dei dati luminosi. Inoltre, nei paesi in cui la produzione è scarsa, non si riesce a distinguere tra luci stabili e rumore di fondo, per cui, anche per questa fascia di paesi è sconsigliato l'utilizzo delle luci notturne come misura dell'intensità economica.

Successivamente anche Bickenbach et al. (2016), conducono una ricerca che li porta a concludere che la relazione esistente tra intensità luminosa e PIL non è stabile a livello regionale. In particolare, si rifanno allo studio di Henderson et al. (2012), sotto riassunto, utilizzando il loro stesso metodo empirico per poter valutare la relazione tra luci notturne e andamento economico per le economie emergenti di India e Brasile. I risultati suggeriscono che tale relazione è significativamente instabile tra le regioni dei due paesi analizzati, ma l'irregolarità non è dovuta a errori di misura del PIL. Nelle economie più

sviluppate di USA e Europa, nelle quali si suppone che la misura del PIL sia più precisa, infatti, si verifica la stessa instabilità vista prima per India e Brasile. Al modello descritto da Henderson et al. dunque, vanno aggiunte diverse variabili affinché esso sia più preciso (prezzo dell'elettricità, fattori culturali e istituzionali, utilizzo del suolo), riducendo l'intensità luminosa ad essere una delle variabili per poter predire il PIL e non più un predittore da solo.

Più recentemente, Gibson et al. (2020) hanno compilato una rassegna delle fonti dati relative ai satelliti, in modo tale da permettere agli studiosi che si occupano di questi temi di servirsene per effettuare delle analisi più precise. In particolare, gli ideatori dell'articolo, hanno raccolto le informazioni sul DMSP e sul più moderno VIIRS concludendo che le luci notturne spiegano meglio l'attività economica nelle aree urbanizzate piuttosto che in quelle rurali, nei distretti urbani piuttosto che nelle contee e per confronti geografici piuttosto che temporali.

1.2 I dati satellitari e la pandemia da Covid-19

Negli anni più recenti, le immagini satellitari e le luci notturne, sono state utilizzate non solo per mappare l'economia, ma anche per stimare gli strascichi lasciati dai disastri umanitari, oppure, in alcuni casi, per cercare di evitarli.

Dopo l'irrompere dell'uragano Sandy nell'ottobre 2012, Andrew Molthan e Gary Jedlovec (2013) hanno scritto un articolo in cui spiegano il metodo utilizzato per verificare quali regioni statunitensi rimasero senza corrente. Con le immagini satellitari delle luci notturne alla mano, gli autori hanno suddiviso

la mappa in diversi colori: le luci presenti prima dell'uragano sono state colorate di rosso e verde, mentre quelle presenti dopo il disastro di blu. Sovrapponendo, quindi, questi colori, le aree in cui si verificò un blackout si presentavano di giallo, mentre le altre di bianco. I dati raccolti da questo esperimento sono poi stati inviati a diverse agenzie in modo tale che potessero intervenire con gli aiuti necessari.

Anche Román et al. (2019) hanno esaminato i danni elettrici causati dall'abbattersi di un uragano. In particolare, gli autori si sono occupati dell'uragano Maria che colpì Porto Rico e che causò il blackout più lungo mai verificatosi negli Stati Uniti.

Oltre ai disastri naturali, gli studiosi si sono occupati anche di descrivere i conflitti armati e le loro conseguenze tramite l'analisi dell'intensità luminosa. Ne riportiamo qui di seguito tre esempi.

Xi Li e Deren Li (2014) hanno acquisito le immagini delle luci notturne da gennaio 2008 a febbraio 2014 per valutare gli effetti della guerra Siriana e della relativa crisi.

Li et al. (2015) hanno effettuato uno studio riguardante le conseguenze dell'occupazione dell'ISIS nel nord Iraq, mediante l'utilizzo delle luci notturne. Hanno separato l'intensità luminosa proveniente dalle città e quella proveniente da giacimenti petroliferi e dopodichè hanno valutato la percentuale di variazione di luminosità pre e post occupazione Siriana. Tutte le province irachene sotto assedio dell'ISIS subirono una perdita di intensità luminosa, in particolare Al-Anbar, Saladin e Ninawa dove la riduzione arrivò a toccare anche il 93%. Nelle

province controllate dalle forze di sicurezza irachene non si arrivò a questi livelli. La conclusione a cui sono arrivati gli autori è che tutto ciò è dovuto alla difficoltà nell'accedere alla rete elettrica irachena.

Elvidge et al. (2017) hanno scritto un libro in cui descrivono gli effetti della caduta dell'Unione Sovietica, monitorando i cambiamenti, visti tramite i satelliti, dell'utilizzo e della destinazione del suolo.

Coscieme et al. (2016), invece, non hanno analizzato le conseguenze derivanti da scontri militarizzati, bensì si sono concentrati a tentare di evitarli tramite i cosiddetti “punti freddi”, nei quali era probabile lo scoppio di una guerra. Questi punti vengono creati in base all'intensità luminosa che sprigionano: differenze nella luminosità, infatti, segnalano diversi livelli di benessere socio-economico. Concludono scrivendo che, venendo a conoscenza delle zone a rischio insorgenza di conflitti, si può intervenire tempestivamente con politiche in grado di scongiurarli.

Nel 2020, poi, si è abbattuto sull'umanità un altro evento disastroso: l'avvento del Covid-19. E così come in passato le immagini satellitari vennero usate per stimare i disastri delle catastrofi, anche in questo caso troviamo diversi studi che le utilizzano come metro di misura.

Durante il 2020 e il 2021, infatti, dopo lo scoppio della pandemia da Covid-19, in letteratura sono apparsi molti articoli il cui scopo era quello di predire, tramite le luci notturne delle immagini satellitari, l'andamento economico dei vari paesi coinvolti, oppure quello di valutare la variazione di intensità luminosa, in

correlazione ad alcuni indicatori economici, derivante dalle varie chiusure messe in atto per prevenire la diffusione della malattia infettiva.

Il perché dell'uso dei dati satellitari risiede nel fatto che così come il Covid-19 dilagava rapidamente in tutto il mondo, allo stesso modo erano necessari dati disponibili in tempo reale per permettere la mappatura dell'attività economica mondiale e per poter permettere ai decisori politici di condurre un processo decisionale consapevole.

A differenza di quanto successo per l'epidemia di Sars nel 2003, durante la quale, secondo Doan et al. (2020) ci fu, per tutte le regioni asiatiche più colpite, un ribasso economico a breve termine, seguito da una tempestiva ripresa, durante la pandemia di Covid-19 l'economia mondiale è stata nettamente più colpita.

Elvidge et al. (2020), infatti, conducendo una ricerca tramite le luci notturne mensili provenienti dal satellite VIIRS, hanno dedotto che le regioni cinesi sono state interessate da una riduzione di intensità luminosa in corrispondenza dell'avvento delle chiusure per prevenire la diffusione del Covid-19. Gli autori hanno messo a paragone dicembre 2019 con febbraio 2020: il primo tra i due è l'ultimo mese completo in cui i cittadini cinesi non dovevano sottostare a norme contro la diffusione del virus, gennaio non viene preso in considerazione a causa del Capodanno cinese, mentre febbraio è il primo mese completo di *lockdown*.

Liu et al. (2020), più in particolare, affermano che il calo di luminosità si è registrato solo nelle aree commerciali del paese, quella relativa ai trasporti è rimasta pressoché invariata, mentre quella delle aree residenziali è addirittura

aumentata. Questo si spiega sicuramente grazie al minor traffico, il quale, durante i periodi di chiusure, ha permesso di migliorare nettamente gli indici di inquinamento.

Indici di inquinamento che sono migliorati anche durante i *lockdown* che ci sono stati a Los Angeles, California; Chicago, Illinois e Washington DC, come riportato da Straka III et al. (2020). Gli autori hanno osservato un miglioramento della qualità dell'aria, deducibile da una riduzione di NO₂ e PM_{2.5}, osservata tramite l'ausilio delle immagini satellitari del VIIRS.

Anche se sia negli Stati Uniti che in Cina, c'è stata una riduzione di intensità luminosa, questa ha subito un percorso diverso per i due paesi, come leggiamo da Christopher Small e Daniel Sousa (2021), i quali hanno paragonato e la diffusione spazio-temporale del diffondersi della malattia di Covid-19 degli Stati Uniti e della Cina tramite l'utilizzo delle luci notturne acquisite tramite VIIRS. I risultati dimostrano che in Cina c'è stata una rapida estensione nel gennaio 2020, ma subito una tempestiva riduzione nel febbraio 2020, anche se per alcune zone, non c'è stata una seconda ondata a marzo e aprile. Per quanto riguarda gli Stati Uniti, invece, c'è stato un lento aumento di nuovi casi confermati all'inizio dell'emergenza a gennaio e febbraio, con poi una brusca accelerazione successivamente a marzo.

Anche Ghosh et al. (2020) sono intervenuti a sostegno della tesi secondo cui la pandemia che stiamo attualmente vivendo ha avuto ed avrà conseguenze drastiche sull'economia globale. Gli autori hanno riproposto lo stesso studio presentato da Elvidge et al. (2020), ma questa volta applicato ai paesi indiani.

La conclusione a cui sono arrivati Ghosh et al. (2020), infatti è che l'India ha subito un brusco calo dell'attività economica, segnalato da una riduzione di intensità luminosa. A causa, però, dei diversi numeri di contagiati all'interno del territorio indiano, spiegano Beyer et al. (2020), la riduzione dell'intensità luminosa spiegata da Ghosh et al. è avvenuta in maniera eterogenea in tutta l'India.

Ma non solo India e Cina si sono viste alle prese con una riduzione delle luci notturne.

Per quanto riguarda l'Europa Andreas Jechow e Franz Hölker (2020), si sono occupati di analizzare le immagini satellitari delle luci notturne a Berlino nel marzo 2020, in corrispondenza del *lockdown* imposto a causa del dilagare del Covid-19. Il loro scopo era quello di misurare l'intensità luminosa della città e della rispettiva temperatura di colore. A causa della sostituzione delle lampadine classiche in favore di quelle a LED che la Germania ha adottato nel 2016, ci si aspettava un drastico aumento della temperatura di colore e dell'intensità luminosa della città. I risultati però si sono mossi nella direzione opposta: entrambe le variabili osservate hanno subito una riduzione. Le luci notturne sono diminuite del 20% nel centro di Berlino e del 50% a 58 Km dalla città. Le città europee, però, non sono state particolarmente colpite. Xu et al. (2021) analizzando 20 metropoli in giro per il mondo (Mumbai, Dhaka, Manila, New York, Tokyo, Parigi, Londra...) e usando dati quotidiani, per un mese di fila, prodotti dal Black Marble della Nasa hanno calcolato la variazione di intensità luminosa di ogni città durante il rispettivo *lockdown*: le più colpite risultano le

città indiane, mentre quelle meno colpite, come anticipato prima, quelle europee.

Stessa sorte per il continente africano, che registra anch'esso una riduzione di intensità luminosa, come spiegato da Anupam Amand e Do-Hyung Kim (2021) nel loro "Pandemic Induced Changes in Economic Activity around African Protected Areas Captured through Night-Time Light Data", anche se in misura minore. Nelle aree protette africane, che costituiscono la maggior parte del PIL del continente, infatti, la riduzione di intensità luminosa è risultata essere pari, in media a circa l'8%.

Per ultimo viene analizzato lo studio da cui partiremo per sviluppare il nostro lavoro, con il cambio di alcuni aspetti e di alcune variabili.

Roberts (2021) analizza l'impatto dovuto al *lockdown* imposto dalle autorità locali marocchine, in risposta alla diffusione del Covid-19 a livello economico, utilizzando come *proxy* le luci notturne provenienti dalle immagini satellitari in Marocco. L'utilizzo di tale strumento di misura, continua l'autore, permette la disponibilità dei dati in tempo reale, a differenza del PIL marocchino, qui citato da Roberts, disponibile solo a livello trimestrale.

Lo studio prevede di analizzare la correlazione tra i dati satellitari provenienti dal satellite VIIRS a livello trimestrale, per poterli mettere in relazione con i dati del PIL a livello nazionale, per il periodo di tempo che va dal quarto trimestre del 2012, al primo del 2020. La scelta temporale è dettata dal fatto che il terzo trimestre 2012 è il primo disponibile catturato da VIIRS, mentre il primo 2020, alla data in cui è stato scritto l'articolo, è l'ultimo. La scelta geografica,

invece, è condizionata dal fatto il PIL è disponibile esclusivamente a livello nazionale e a frequenza trimestrale. Inoltre, è stato scelto il Marocco perché grazie alla sua bassissima copertura nuvolosa permette immagini satellitari più nitide e di qualità superiore.

Una volta stabilita la correlazione statistica, si procede con l'analizzare le luci notturne dopo l'annuncio del primo caso di persona infettata dal virus in Marocco, sia a livello nazionale che nazionale.

I dati satellitari utilizzati provenienti dall'Earth Observation Group (EOG), presentano già una pulizia dalla luce lunare, ma, è necessario un ulteriore filtro per rimuovere altre illuminazioni come quelle derivanti dall'aurora, dai fuochi o dalle barche. L'autore ha quindi applicato tre maschere differenti ai dati grezzi:

- La “maschera EOG” che offre una pulizia del dataset pari a quella che l'EOG fa per i suoi dati annuali. Scarta, cioè, i pixel corrispondenti alle luci effimere elencate sopra.
- La “maschera cluster” che segue il metodo descritto da Beyer et al. (2020), utilizzando, cioè, un algoritmo di clustering ideato da Elvidge et al. (2017) che definisce come “rumore di fondo” tutti i pixel non appartenenti al cluster, che si allontanano, in altre parole, dalla luminosità core.
- La “maschera della popolazione” che seguendo il dataset GHS-POP della Commissione Europea, elimina le aree nelle quali non vi è traccia di popolazione nel 2015.

- La “maschera *built-up*” che elimina le regioni in cui non vi sono edifici nel 2018.

Nonostante l’applicazione di queste maschere, viene comunque scartato per ogni anno il mese di giugno, durante il quale avviene il solstizio d’estate e per il quale si creano distorsioni nei dati.

La misura utilizzata per valutare l’intensità luminosa delle luci notturne è la *Sum Of Light* (SOL) che prevede di sommare i valori di intensità luminosa per ogni pixel di ogni determinata area.

Per valutare la correlazione tra intensità luminosa e PIL reale, l’autore effettua tre diverse regressioni:

- La prima mette in correlazione il logaritmo naturale del PIL reale per uno specifico trimestre, con la SOL dello stesso. Viene inoltre inserita una variabile dummy che controlla le fluttuazioni regolari trimestrali. Se la dummy non è inserita, la regressione controlla esclusivamente se la SOL può spiegare le variazioni del PIL. Se, invece, viene inserita si verifica se l’intensità luminosa può spiegare i cambiamenti del PIL oltre le fluttuazioni trimestrali regolari.
- Nella seconda regressione si rimpiazza la variabile che controlla gli effetti trimestrali, con la stessa ma a livello annuale. Anche qui vengono effettuate due prove: la prima provando ad inserire la *dummy*, la seconda scartandola
- Nell’ultima regressione si mettono in correlazione PIL e intensità luminosa entrambi detrendizzati.

Tutte le analisi sopra descritte sono state effettuate con dati grezzi e con i dati filtrati dalle maschere prima citate. Nel primo caso non si ottengono relazioni statistiche significative. Nel secondo, invece, utilizzando la “maschera EOG” e la “maschera cluster, si trova che la SOL spiega circa un terzo delle fluttuazioni del PIL reale, ottenendo un’elasticità del PIL rispetto all’intensità luminosa di 0.265-0.296 e un R^2 di 0.35-0.37.

Una volta verificata la correlazione tra PIL e intensità luminosa, Roberts procede analizzando la variazione di SOL in risposta al Covid-19, a frequenza mensile e a livello geografico prima nazionale e poi regionale. Per fare ciò imposta nuovamente una regressione in cui vi è una dummy corrispondente a 1 se il mese preso in considerazione cade nel periodo dopo lo scoppio della pandemia, 0 al contrario.

A livello nazionale si può riscontrare che una volta annunciato il primo caso di Covid-19 in Marocco ci fu una brusca diminuzione dell’intensità luminosa, fino però a maggio 2020 in cui cominciò la ripresa della SOL ed entrambi i dati, riguardanti casi confermati e morti attribuibili al virus, iniziarono a decrescere. A settembre, però, si verificò di nuovo uno shock paragonabile a quello dei primi di aprile.

A livello regionale, si registra anche qui un brusco calo di luminosità in modo, però eterogeneo: alcune regioni, infatti, registrarono cali di intensità luminosa molto più importanti di altre. In base a questa scoperta Roberts suddivide le aree in tre gruppi:

- Le regioni che sono state colpite più duramente, quelle che hanno registrato, cioè, l'abbassamento di SOL più elevato tra pre e post Covid-19.
- Le regioni duramente colpite, con una diminuzione forte, ma non così tanto come le precedenti.
- Le regioni che si sono riprese, quelle, cioè, che a settembre sono tornate ai livelli registrati nel periodo pre-Covid-19.

Per concludere, quindi il Marocco presenta grosse perdite in intensità luminosa sia a livello nazionale che regionale nel periodo post pandemia. Nonostante tutte le regioni abbiano subito un brusco calo di luminosità, alcune di esse sono state più duramente colpite, mentre altre si sono riprese nel mese di settembre.

L'autore ha inoltre scoperto il fatto che la variazione di intensità luminosa può spiegare la fluttuazione dell'attività economica.

1. I dati

I dati utilizzati per intraprendere le nostre analisi sono sostanzialmente di quattro tipi: le immagini satellitari, i numeri di casi confermati di Covid-19 in Italia, il valore del PIL e i vari Decreti Legge del Consiglio dei Ministri (DPCM) emessi durante la situazione di emergenza sanitaria.

I dati satellitari sono stati catturati dal Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band (DNB), a bordo dei satelliti congiunti

NASA/NOAA Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP)
e NOAA-20.

I dati utilizzati, in particolare, sono immagini satellitari mensili ottenute tramite la soma su tutto l'arco temporale che ricopre il mese in esame e precedentemente filtrate per eliminare le luci derivanti da fenomeni quali fulmini o derivanti dall'illuminazione lunare. È stata, inoltre eliminata, tramite un'apposita maschera denominata *VIIRS Cloud Mask*, la copertura nuvolosa, per poter rendere più leggibili le immagini. L'ultimo filtro è stato invece applicato per ridurre la luce parassita, una luce, cioè, riflessa che farebbe apparire l'immagine poco nitida.

Tramite, poi, il software QGis le immagini sono state ritagliate, con l'aiuto di un file vettore scaricato presso il sito internet dell'ISTAT, contenente i confini delle unità amministrative aggiornati a gennaio 2021.

Successivamente, per ottenere l'intensità luminosa, abbiamo estratto la tabella degli attributi di ciascun file analizzato.

L'intensità luminosa è stata calcolata tramite la cosiddetta *Sum of light* (SOL), che consiste nell'appunto sommare l'intensità luminosa di ciascun pixel per ciascun'area presa in considerazione.

Il numero dei casi confermati di persone affette dal Covid-19 in Italia, invece, è stato reso disponibile giornalmente dal sito web *github*, fonte di dati ufficiale anche per il Governo italiano. Il dato è cumulativo, quindi avendo noi bisogno di un dato mensile, a causa della disponibilità delle immagini satellitari a questa

cadenza temporale, abbiamo analizzato solo il dato relativo all'ultimo giorno di ogni mese.

Per quanto riguarda il PIL, il dato è disponibile a livello temporale trimestrale e a livello geografico nazionale: è stato calcolato riflettendo il livello dei prezzi di mercato, non destagionalizzati.

Infine, l'ultima fonte dati utilizzata è stata quella che si può facilmente reperire sul sito del Governo italiano e che fa una lista cronologica di tutti i DPCM emanati da marzo 2020 al periodo attuale.

2. L'intensità luminosa e i dati della pandemia: statistiche descrittive

In questo paragrafo analizzeremo, con l'aiuto di qualche statistica descrittiva, le variazioni di intensità luminosa e di contagiati nelle varie province italiane a seguito dell'introduzione delle varie misure di contingentamento per ridurre la diffusione del virus. L'analisi è suddivisa in due parti: la prima riguarda il primo periodo della pandemia, quello che decorre da febbraio 2020 ad ottobre 2020, in cui le varie restrizioni e poi le conseguenti riaperture erano dettate da diversi DPCM, rilasciati dal Governo. La seconda, invece, parte da novembre 2020 ed arriva fino ad oggi: in questo specifico periodo la pandemia è stata gestita in modo diverso, tramite, cioè, il sistema delle regioni a colori, che verrà analizzato più avanti, nel paragrafo dedicato.

La comparazione della variazione di luci notturne e del numero di casi confermati di Covid-19 in Italia viene effettuata tra un mese ricadente nel periodo post-covid ed il suo successivo.

2.1 Le luci notturne e il Covid-19 in Italia da febbraio ad ottobre 2020

Dopo la scoperta dei primi casi di persone affette da Covid-19 in Cina, il nostro paese come prima misura di restrizione ha adottato quella di sospendere i voli provenienti dai paesi asiatici.

Nonostante le precauzioni prese, il 21 febbraio 2020 viene scoperto il primo caso italiano di Covid-19 nella provincia di Lodi, in Lombardia.

Da quella data in avanti il Presidente del Consiglio dei Ministri ha periodicamente emanato un nuovo Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (DPCM) per contenere il diffondersi del virus.

I primi provvedimenti volti a prevenire l'espandersi della malattia erano mirati alle zone lombarde e piacentine in cui si sono manifestati i primi contagiati, ma questo non è bastato a limitarne la diffusione: nel mese di febbraio in cui tutte le province registravano contagi pari a zero, o comunque contagi molto poco numerosi, per la provincia di Lodi e quella di Piacenza si contavano rispettivamente 237 e 138 persone positive al Covid-19.

Dopo alcune chiusure localizzate che interessavano esclusivamente le aree in cui sono comparsi i primi soggetti affetti dal coronavirus, il 9 marzo 2020, con il decreto soprannominato *#Iorestoacasa*, l'Italia entra ufficialmente in

lockdown. Le scuole, le università, i bar e i ristoranti, le palestre, le piscine e i musei chiudevano, veniva vietata ogni forma di assembramento e grazie alla formula di *smart-working*, anche le aziende si svuotavano. Successivamente anche parchi e ville venivano chiusi e lo sport di gruppo veniva abolito.

L'11 marzo viene dichiarata pandemia globale dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

Il 22 marzo 2020 entra in vigore un'ordinanza che prevede il divieto di spostarsi da un comune diverso dal proprio, se non per motivi di emergenza.

A differenza di quanto ci potevamo aspettare, con l'introduzione delle chiusure sopra descritte, l'intensità luminosa tra febbraio e marzo non è diminuita per tutte le province italiane: 56 di esse hanno subito un calo, mentre 51 hanno registrato un rialzo di luminosità.

In particolare la provincia di Imperia con un calo del 25% ha subito la perdita maggiore, mentre la provincia di Lucca, al contrario, con una crescita del 19% è stata quella a registrare il maggior incremento.

Le province subiscono una riduzione, in media, dello 0,8% rispetto a febbraio.

Mettendo, invece, a paragone il mese di marzo 2020, primo mese in cui vengono introdotte le misure di contenimento del virus, e marzo 2019 quasi la totalità delle province subisce una diminuzione. Sono, infatti, 92 le province che registrano un calo di luminosità, contro le 15 che invece risultano più illuminate, le quali, però, riportano una percentuale di incremento di molto inferiore rispetto a quelle registrate tra febbraio e marzo 2020. L'unica eccezione, in questo caso,

è rappresentata dalla provincia di Potenza che con un aumento del 38% si discosta di molto dagli altri dati raccolti e che ci sentiamo, quindi di escludere e di classificare come outlier.

Bolzano, con un 8% di intensità luminosa in più, è la provincia con l'incremento più alto, mentre Livorno con un 25% di luci notturne in meno, rappresenta la provincia con il calo maggiore. La variazione, in media, è del 6% in meno rispetto a marzo 2019.

Per quanto riguarda, invece, i contagi essendo marzo 2020 il primo mese intero in cui veniva fornito giornalmente il bollettino con i numeri del contagio, tutte le province, nessuna esclusa, si attestano su un incremento percentuale di casi confermati tra febbraio e marzo superiore all'80%.



Figura 1 – Luci notturne marzo 2020. Fonte dati:EOG Fonte: elaborazione propria



Figura 2 – Luci notturne marzo 2021. Fonte dati:EOG Fonte: elaborazione propria

Il 10 aprile 2020, poi, c'è stato il primo segnale di ripresa con la riapertura di cartolerie, librerie, negozi di vestiti per bambini e neonati ed il consenso alla pratica della silvicoltura e dell'industria del legno.

Grazie alla curva dei contagi che continua a crescere, ma non in maniera così repentina come era successo tra febbraio e marzo, con il DPCM del 26 aprile inizia la cosiddetta “fase 2”: i numeri degli allora attualmente positivi è in rialzo, ma questa volta la variazione percentuale è in media il 45%, a differenza di quella del mese precedente che era più del doppio.

In questa fase di convivenza con il virus gli spostamenti all'interno della propria regione ritornano leciti, anche per motivi di visita a parenti, riaprirono i parchi cittadini, ritornarono ad essere celebrate le funzioni religiose, il cibo d'asporto

cucinato dai ristoranti non si limita più alla sola consegna a domicilio, ma anche al ritiro in loco.

Grazie a queste, seppur piccole, riaperture l'intensità luminosa ad aprile 2020 risulta essere in rialzo per 80 province, contro le 27 che ne registrano una diminuzione. La provincia di Ragusa è quella la cui intensità luminosa è aumentata di più, mentre la provincia di Cagliari ha subito il maggior decremento. In media la variazione si attesta su un'intensificazione del 2% circa.

Il 4 maggio il Presidente del Consiglio dei Ministri ha ulteriormente attenuato le misure di contenimento del Covid-19 con la riapertura di attività manifatturiere, di costruzioni, di intermediazione immobiliare e del commercio all'ingrosso.

Grazie alla curva dei contagi che risulta sotto controllo, il 18 maggio, infine, l'Italia esce ufficialmente dal lockdown: ritornano ad essere consentiti quindi gli spostamenti senza obbligo di autocertificazione.

Si registra, questa volta, una variazione percentuale media dei casi confermati del 7% circa, circa sei volte in meno rispetto a quella osservata tra marzo e aprile.

Anche in questo caso le province in cui si è rilevata un'intensità maggiore rispetto al mese precedente supera il numero di quelle in cui questa grandezza è diminuita: sono rispettivamente 68 e 39. Prato, con una diminuzione dell'11%, è la provincia che ha subito il maggior calo di luminosità, mentre Aosta con un

incremento del 26% è la provincia con il maggior aumento. Anche in questo periodo la media di variazione delle varie province si attesta intorno ad un incremento del 2,5%.

Con il DPCM dell'11 giugno, ritornano ad essere aperti i centri estivi per bambini, le sale giochi, le sale scommesse, le sale bingo, i centri benessere, i centri termale, culturali e i centri sociali. Ritornano ad essere consentiti anche gli spettacoli e le gare sportive, con la presenza del pubblico, ed infine riprendono gli sport di contatto.

Il numero di nuovi positivi nel mese di luglio, per tutte le province italiane, sale in media del 2%, confermando il trend decrescente della curva del numero di persone risultate affette da Covid-19.

Per il mese di giugno, nonostante il via libera delle autorità, il trend dell'intensità luminosa, invece, si inverte, con un numero di province che ne subiscono un calo maggiore rispetto a quelle che ne osservano un aumento. In particolare sono 44 quelle che registrano un incremento e 63 quelle a cui è associato un decremento. Sono Verbania – Cusio – Ossola e Belluno rispettivamente le province con un maggior calo e con un maggior incremento.

Nel periodo estivo l'incremento provinciale di contagiati, continua ad essere stabile nel mese di luglio, attestandosi mediamente intorno al 2%, ma comincia ad avere un trend nuovamente ascendente nel mese di agosto per poi proseguire a settembre e ad ottobre. A fine ottobre, infatti, il dato cumulato mensile registra un rialzo del 51%, contro il 15% di settembre.

Anche per quanto riguarda l'intensità luminosa si riconferma il trend precedentemente descritto per il mese di giugno: le province che incrementano la loro intensità luminosa sono meno di quelle che la diminuiscono. Nel mese di settembre, in cui c'è il minor numero di province con una variazione di intensità positiva rispetto al mese precedente, sono solamente 6 quelle in cui si osserva un aumento.

Riportiamo qui di seguito le figure che riassumono quanto appena descritto.

In figura 1 possiamo osservare la curva dei contagi da febbraio ad ottobre. Come abbiamo descritto passo per passo, la curva ha subito costantemente un incremento, trattandosi di dati mensili cumulati, ma la differenza registrata di mese in mese è stata in ascesa da febbraio a marzo, trovando poi una discesa fino al mese di luglio, per poi risalire nei mesi di agosto, settembre e ottobre.

Per quanto riguarda, invece, il trend dell'intensità luminosa, che qui, per ragioni di miglior visualizzazione riportiamo solamente per le principali province italiane, ha seguito quelle che sono state le chiusure e le riaperture imposte dal Governo per contrastare la pandemia.

Come si può notare dal grafico per tutte le province riportate c'è stato un rialzo di luminosità nel mese di maggio in cui ci sono state le prime riaperture dopo il lockdown, fa eccezione a ciò la provincia di Milano. Dopo un periodo di decremento, nei mesi di settembre e ottobre si osserva per tutte, tranne che per Torino, un rialzo di luminosità.

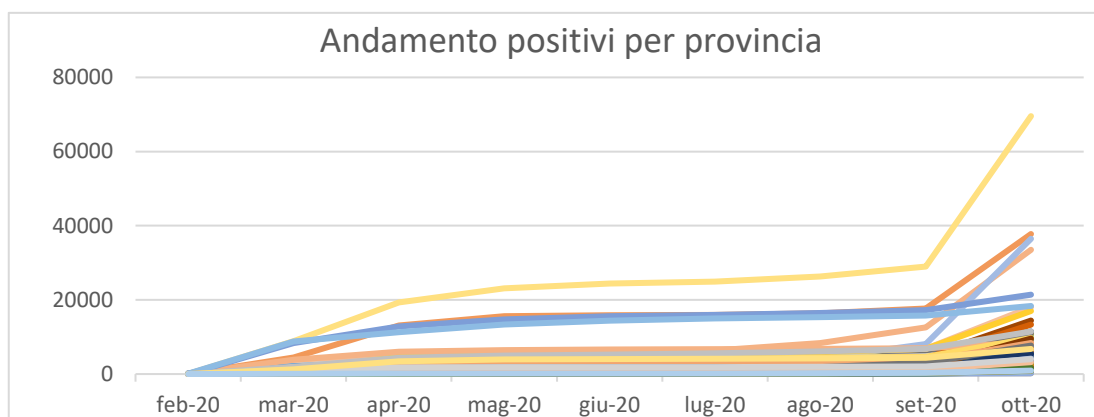


Figura 2 – Andamento dei nuovi positivi al Covid – 19 suddiviso per provincia, nel periodo da febbraio ad ottobre 2020. Fonte dati: Github ; Fonte: elaborazione propria

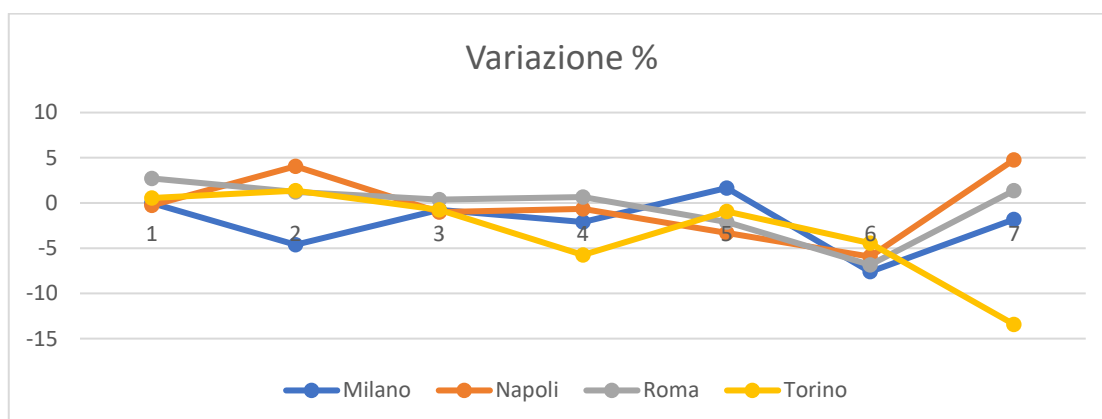


Figura 3 – Variazione percentuale tra mesi successivi dell'intensità luminosa nel periodo da febbraio ad ottobre 2020, per le principali province italiane. Fonte dati: Github; Fonte: elaborazione propria.

Nella figura sottostante riportiamo la differenza tra il secondo trimestre 2020 (in cui è scoppiata la pandemia in Italia) e lo stesso periodo del 2018. Anche ad occhio è visibile la differenza di luminosità che intercorre tra i due periodi: nel 2020 la luminosità si è ridotta a causa del lockdown che vede il nostro paese come protagonista.



Figura 4 – Luci notturne secondo trimestre 2018. Fonte dati:EOG Fonte: elaborazione propria.



Figura 5 – Luci notturne secondo trimestre 2020. Fonte dati:EOG Fonte: elaborazione propria.

2.2 Le luci notturne e il Covid-19 in Italia da novembre 2020 a marzo 2021

Per quanto riguarda il periodo dell'anno che inizia da novembre 2020, le regole in vigore a contrasto del virus sono cambiate. Il Governo ha introdotto il sistema delle regioni a colori: zona bianca (rischio minimo), zona gialla, zona arancione e zona rossa (rischio massimo). L'immissione di una determinata regione, in una determinata area di colore è dipendente dalla curva epidemiologica e dal tasso di occupazione dei posti letto negli ospedali regionali. Tutte e quattro le aree sono accumulate dal coprifuoco serale e dall'utilizzo delle mascherine nei luoghi all'aperto e al chiuso. Ogni area, poi, ha regole specifiche, come per esempio la chiusura dei locali per il servizio serale per la zona gialla, oppure la totale chiusura dei bar e ristoranti con la possibilità di effettuare consegne a domicilio per la zona arancione e la zona rossa.

A causa dell'introduzione di questo nuovo decreto, abbiamo deciso di analizzare l'intensità luminosa e i dati dei contagi in questo lasso temporale a livello regionale, proprio per poter rilevare i vari cambiamenti avvenuti in concomitanza con l'immissione di una regione in una determinata area di rischio.

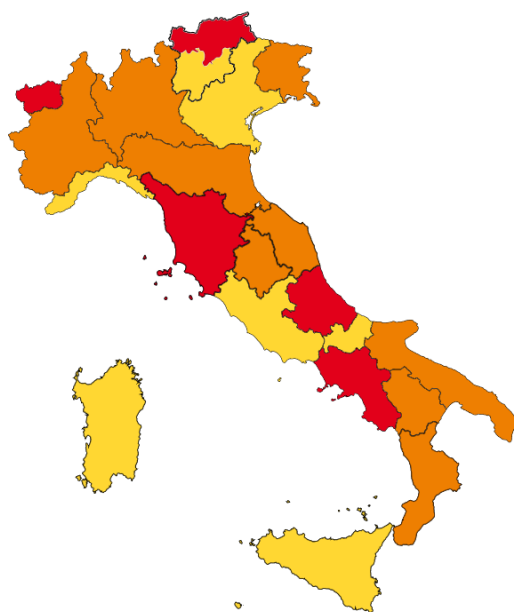


Figura 6 – Assegnazione delle regioni alle diverse aree di rischio al 4 novembre 2020. Fonte dati: Governo italiano; Fonte immagine: <http://www.sitiarcheologici.palazzochigi.it/www.governo.it/febbraio%202021/node/15618.html>

Regione	Var %
Lombardia	10,95%
Veneto	15,49%
Emilia-Romagna	4,24%
Piemonte	22,88%
Lazio	10,49%
Puglia	-2,66%
Campania	5,89%
Sicilia	1,03%

Toscana	15,27%
Sardegna	12,21%
Calabria	0,21%
Marche	-1,14%
Abruzzo	-3,22%
Friuli-Venezia Giulia	19,51%
Liguria	19,65%
Trentino-Alto Adige	20,65%
Umbria	12,03%
Basilicata	- 10,21%
Molise	-2,25%
Valle d'Aosta	18,67%

Tabella 1 – Variazione percentuale dell'intensità luminosa da ottobre a novembre 2020. Fonte dati: EOG; Fonte immagine: elaborazione propria.

In tabella 1 osserviamo che nonostante le nuove misure introdotte, le regioni che hanno registrato un calo di luminosità da ottobre a novembre sono in netta minoranza rispetto a quelle che hanno aumentato la loro intensità luminosa. La Basilicata, con il suo passaggio in zona arancione è la regione che ha subito il maggior decremento, forse proprio a causa delle regole più stringenti introdotte.

Il Trentino – Alto – Adige, invece con il suo aumento del 20,65% e la zona gialla è la regione con il massimo aumento di intensità luminosa.

I casi di Covid-19 in questa fase della pandemia sono cresciuti esponenzialmente, tornando ai livelli pre-estivi: la media, infatti delle nuove persone affette dal virus nel mese di dicembre, rispetto a quello di novembre, si attesta intorno al 45%.

Per quanto riguarda, invece, le festività natalizie e, successivamente per il Capodanno e per la festa dell'Epifania, l'Italia entra totalmente in zona rossa per i giorni festivi e in zona arancione per i rimanenti.

Regione	Var %
Abruzzo	13%
Basilicata	11%
Calabria	4%
Campania	4%
Emilia-Romagna	-7%
Friuli Venezia Giulia	4%
Lazio	-1%
Liguria	-11%
Lombardia	-14%
Marche	7%

Molise	91%
Piemonte	2%
Puglia	3%
Sardegna	-11%
Sicilia	1%
Toscana	-10%
Trentino-Alto Adige	23%
Umbria	-3%
Valle d'Aosta	31%
Veneto	-6%

Tabella 2 – Variazione percentuale dell'intensità luminosa da novembre a dicembre 2020. Fonte dati: EOG ; Fonte immagine: elaborazione propria.

La spinta dell'intero paese in zona rossa ha fatto crollare l'intensità luminosa di parecchie regioni, quella della Lombardia in primis, con una diminuzione del 24 %. Continua, invece, l'ascesa del Trentino con un ulteriore incremento del 23%.

A gennaio, una volta ultimate le festività e la conseguente zona rossa, in area gialla entrano la Campania, la Basilicata, il Molise e la toscana, nell'area arancione l'Abruzzo, la Calabria, l'Emilia-Romagna, il Friuli-Venezia Giulia, il Lazio, la Liguria la Lombardia, le Marche, il Veneto, il Piemonte, la Puglia,

la Sardegna, l'Umbria e la Valle d'Aosta ed infine, nuovamente in zona rossa la Sicilia.

Tutte le regioni, ad eccezione di qualcuna che subisce un piccolo ribasso, aumentano la loro intensità luminosa. Questo trend ascendente, inoltre, continua per il mese di febbraio e per quello di marzo 2021, ultimo mese per cui sono disponibile i dati.

Per quanto riguarda i nuovi casi di Covid-19, il trend è opposto, si registrano, infatti, nel periodo considerato sempre meno nuovi casi rispetto al mese precedente.

Di seguito riportiamo un grafico che riassume l'andamento dei nuovi positivi, suddivisi per regione nel secondo periodo considerato: da novembre 2020 a marzo 2021. Come si evince dalla figura la regione in assoluto più colpita in questa seconda fase è stata la Lombardia, seguita da Campania, Piemonte e Veneto.

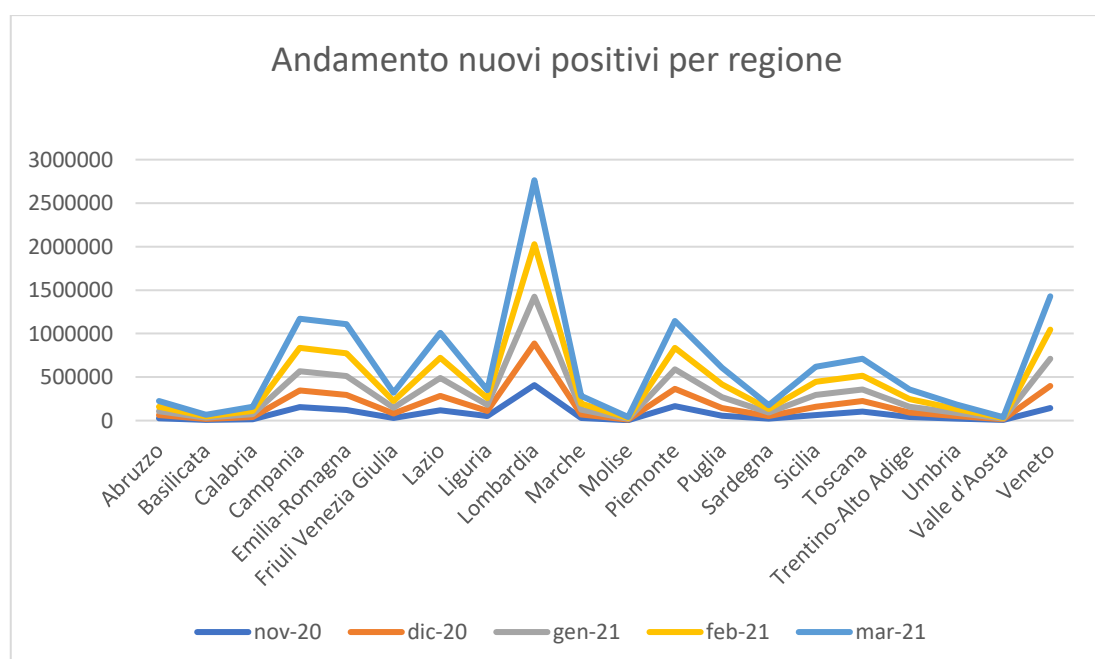


Figura 6 – Andamento nuovi positivi per regione dal novembre 2020 a marzo 2021. Fonte dati: Github; Fonte immagini: elaborazione propria.

Per riassumere, di seguito riportiamo una tabella delle statistiche descrittive relative all'intensità luminosa da marzo 2020 ad ottobre 2020 a livello provinciale e successivamente, da novembre 2020 a febbraio 2021 a livello nazionale ed i relativi grafici riguardanti la media.

Mese	Osservazioni	Media	Median	Deviazione standard	Min	Max
mar-20	107	56.483	44.505	42.354	12.699	268.477
apr-20	107	57.879	45.096	43.217	13.423	275.771
mag-20	107	58.750	47.383	42.495	13.770	279.147
giu-20	107	58.552	47.977	42.098	13.525	280.156
lug-20	107	57.418	47.143	41.918	12.721	282.037
ago-20	107	57.261	46.771	41.560	12.659	276.089
set-20	107	53.381	42.762	39.481	11.757	257.190

ott-20	107	52.786	43.553	38.444	11.25 9	260.71 7
nov-20	20	313.40 4	201.391	236.296	26.84 8	929.77 5
dic-20	20	329.99 5	289.229	208.674	38.69 1	813.09 4
gen-21	20	343.54 0	299.856	239.393	38.56 9	994.04 4
feb-21	20	363.71 2	323.522	235.676	33.05 9	905.22 3

Tabella 3 – Statistiche descrittive dell'intensità luminosa. Fonte dati EOG. ;

Fonte immagine: elaborazione propria.

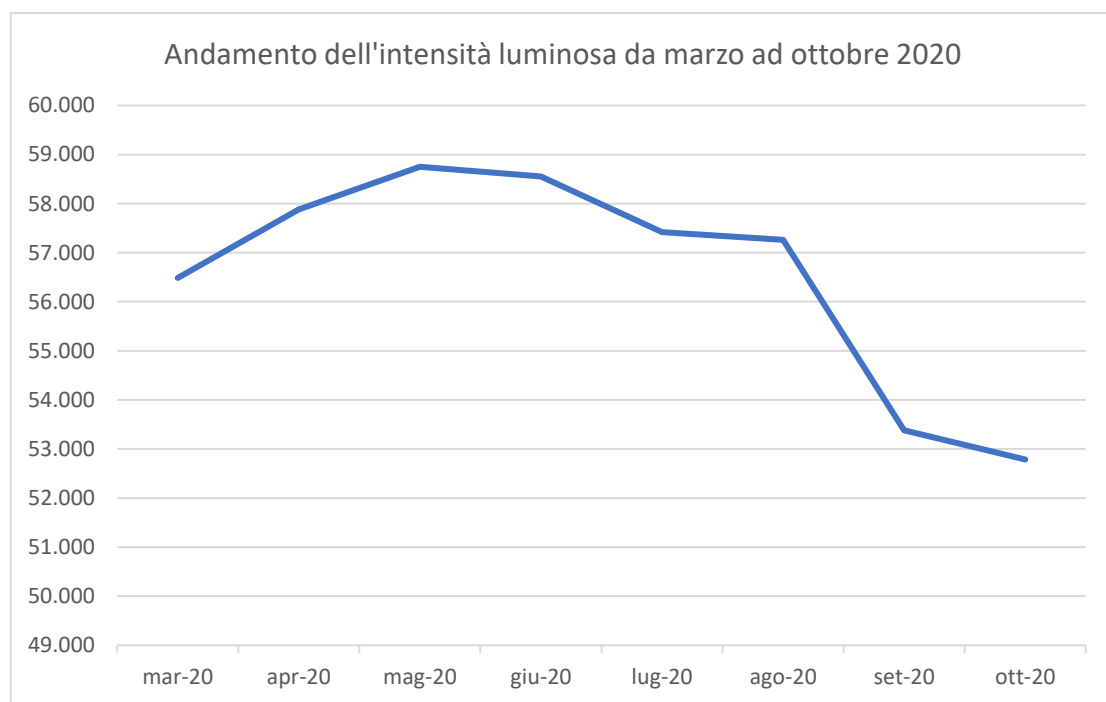


Figura 7 – Andamento dell'intensità luminosa a livello provinciale da marzo 2020 ad ottobre 2020. Fonte dati: EOG ; Fonte immagine: elaborazione propria.

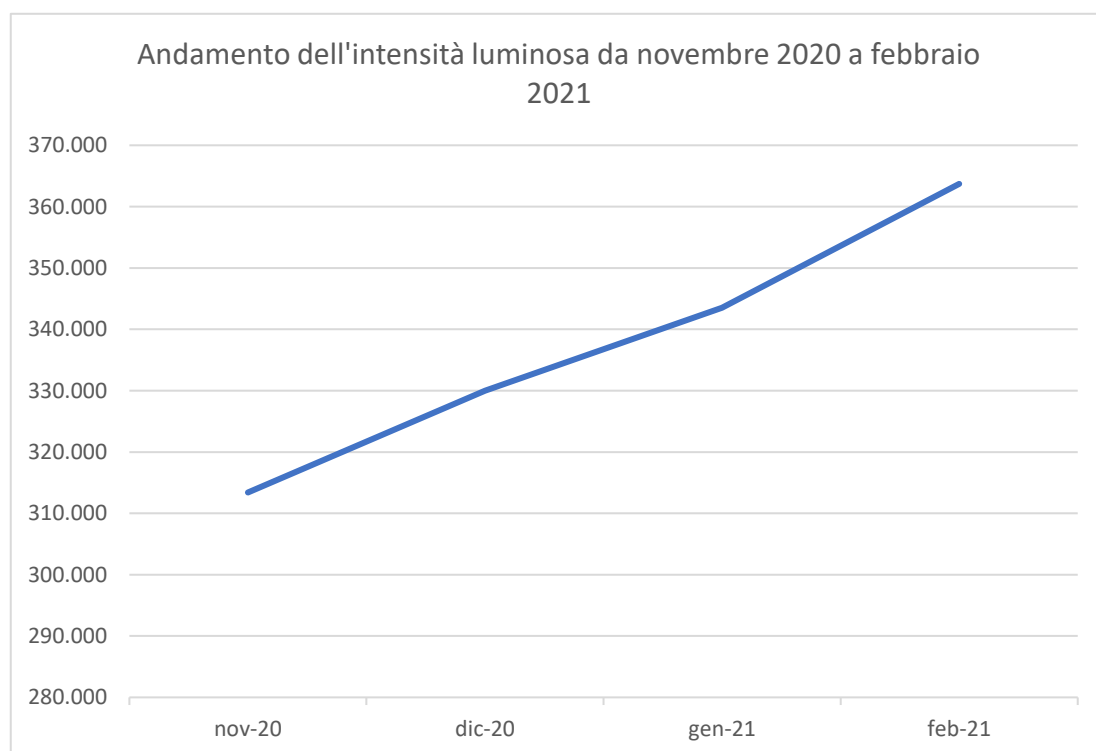


Figura 8 – Andamento dell'intensità luminosa a livello nazionale da novembre 2020 a febbraio 2021. Fonte dati: EOG ; Fonte immagine: elaborazione propria.

Nella tabella di seguito, invece, si riportano le statistiche descrittive relative al numero di persone contagiate in Italia, nel periodo da marzo ad ottobre 2020 a livello provinciale e, da ottobre 2020 a febbraio 2021 a livello nazionale con i relativi grafici che rappresentano i rispettivi trend.

Mese	Osservazio ni	Media	Median a	Deviazione standard	Min	Max
mar-20	128	827	316	1.459	0	8.911
apr-20	128	1.605	632	2.701	0	19.337
mag-20	128	1.820	676	3.171	0	23.076
giu-20	128	1.858	684	3.327	0	24.379
lug-20	128	1.911	712	3.406	0	24.926
ago-20	128	2.076	840	3.566	0	26.293
set-20	128	2.426	1.148	3.917	0	28.961
ott-20	128	5.241	2.864	8.593	0	69.560
nov-20	20	80.078	45.597	93.727	4.71 3	407.79 1
dic-20	20	105.35 8	55.902	114.431	6.52 8	478.90 3
gen-21	20	127.65 2	68.681	130.787	7.79 7	538.05 4
feb-21	20	146.26 3	82.920	145.958	8.05 4	603.08 1
mar-21	20	179.17 2	103.838	178.296	9.29 8	735.48 4

Tabella 4 – Statistiche descrittive del numero di contagiati. Fonte dati: Github ; Fonte immagine: elaborazione propria.

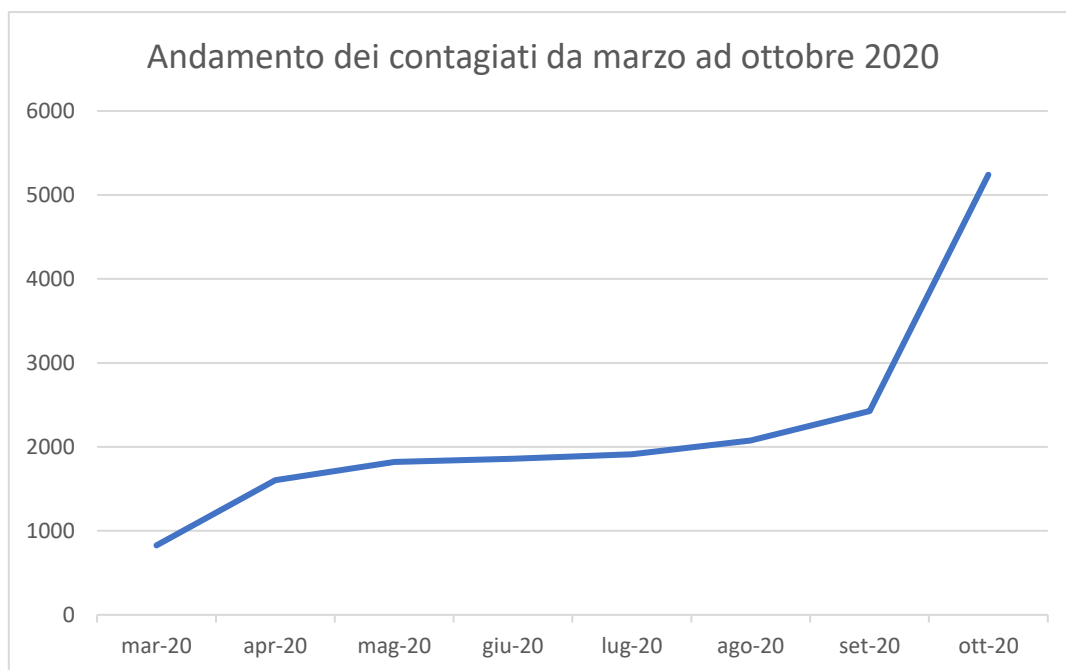


Figura 9 – Andamento del numero di contagiati a livello provinciale da marzo ad ottobre 2020. Fonte dati: Github ; Fonte immagine: elaborazione propria.

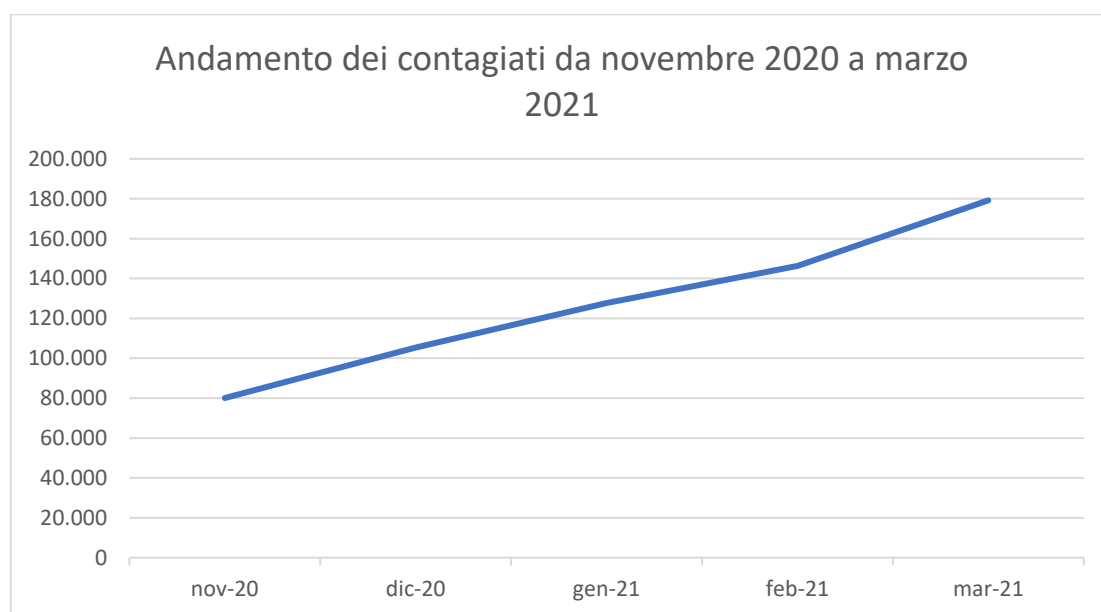


Figura 10 – Andamento del numero di contagiati a livello nazionale da novembre 2020 a marzo 2021. Fonte dati: Github. ; Fonte immagine: elaborazione propria.

3. Correlazione tra intensità luminosa e Pil

3.1I Dati

La ricerca di una correlazione tra l'intensità luminosa e il PIL, nasce dal fatto di voler trovare un indicatore economico alternativo rispetto a quelli usuali, a causa della poca fruibilità di quest'ultimi. Essi, infatti, sono reperibili ad un livello temporale molto aggregato e ad un livello geografico poco specifico.

L'utilizzo delle immagini satellitari, e l'intensità luminosa da esse ricavabile, ci permette, nel caso di correlazione, di ottenere un nuovo indice disponibile quasi in tempo reale e ad un livello geografico anche molto dettagliato.

La nostra analisi prevede due modelli di regressione, con i quali si vuole stimare, se esiste, la correlazione tra intensità luminosa e PIL.

I dati utilizzati per il PIL, sono ricavati dal sito internet dell'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), e sono dati grezzi, non destagionalizzati ai prezzi di mercato, aggregati a livello trimestrale ed a livello geografico nazionale.

Le immagini satellitari sono state scaricate, invece, dal sito internet dell'*Earth Observation Group* della *Colorado School of Mines*, e sono state anche qui utilizzate immagini satellitari mensili, poi sommate per ottenere il dato

trimestrale. Grazie ai limiti amministrativi forniti dall'ISTAT, è stata calcolata l'intensità luminosa a livello nazionale.

3.2I risultati

I modelli di regressione impostati sono i seguenti:

$$\ln(\text{PIL}t) = \alpha + \beta t + \gamma T + \delta(\ln \text{SOL}t) + \varepsilon t \quad [1]$$

$$\ln(\text{PIL}t) = \alpha + \beta t + \gamma (\ln \text{SOL}t) + \varepsilon t \quad [1b]$$

$$\ln(\text{PIL}t) = \alpha + \beta Y + \gamma (\ln \text{SOL}t) + \varepsilon t \quad [2]$$

$$\ln(\text{PIL}t) = \alpha + \beta Y + \gamma T + \delta(\ln \text{SOL}t) + \varepsilon t \quad [2b]$$

Nella prima espressione [1] il logaritmo naturale del PIL in ogni trimestre viene regresso con il logaritmo naturale della *Sum of Light* registrata nello stesso trimestre, tenendo conto anche di un *trend* lineare e di una variabile di tipo *dummy* che tiene traccia del trimestre di appartenenza. Lo stesso modello è stato replicato anche nello stesso modo, ma eliminando la *dummy* trimestrale [1b].

Anche il secondo modello [2] traccia la correlazione tra il logaritmo naturale del PIL in un dato trimestre e l'intensità luminosa nello stesso periodo di tempo, ma si differenzia perché, in questo caso, il *trend* lineare analizzato prima viene rimpiazzato con delle *dummy* annuali. Anche in questo caso il modello viene replicato introducendo le *dummy* trimestrali.

	(1)	(1b)	(2)	(2b)
Trend lineare	-0.000 (0.001)	0.000 (0.001)		
Intensità luminosa (ln)	-0.000 (0.031)	-0.001 (0.033)	-0.010 (0.027)	-0.031 (0.027)
Trimestre=2		0.025 (0.020)		0.014 (0.014)
Trimestre=3		0.038** (0.018)		0.031** (0.012)
Trimestre=4		0.052*** (0.018)		0.051*** (0.012)
Anno=2013			-0.024 (0.024)	-0.015 (0.019)
Anno=2014			-0.020 (0.027)	-0.003 (0.022)
Anno=2015			-0.013 (0.027)	0.003 (0.021)
Anno=2016			-0.000 (0.027)	0.017 (0.022)
Anno=2017			0.017 (0.027)	0.034 (0.022)
Anno=2018			0.025 (0.026)	0.042* (0.021)
Anno=2019			0.030 (0.027)	0.048** (0.022)
Anno=2020			-0.066** (0.027)	-0.049** (0.021)
Anno=2021			-0.057 (0.039)	-0.014 (0.032)
Constant	12.944*** (0.503)	12.919*** (0.541)	13.113*** (0.442)	13.422*** (0.432)
Observations	36	36	36	36
R-squared	0.000	0.242	0.549	0.760
Adjusted R-squared	-0.060	0.115	0.368	0.618
Note: ***, ** indicano una significatività all'1 e al 5 percento				

Tabella 4 – Correlazione tra il PIL e l'intensità luminosa Fonte dati: EOG e ISTAT; Fonte immagine: Stata ed elaborazione propria

Leggendo i dati in tabella, si può notare come non emerga una correlazione significativa tra le due variabili studiate (PIL e intensità luminosa).

La non correlazione conferma i risultati attesi: non eseguendo una pulizia approfondita dei dati satellitari, infatti, anche nella letteratura scientifica a cui facciamo riferimento nei primi capitoli, non compare una dipendenza tra indice economico e *Sum of Light*.

Il dataset utilizzato, infatti, è stato unicamente filtrato dall'EOG, il quale ha effettuato una pulizia della luce lunare, delle luci parassita e della copertura nuvolosa, ma non ha subito ulteriori raffinamenti.

In particolare, nell'articolo di Roberts (2021), da cui siamo partiti per sviluppare il lavoro di tesi, l'autore effettua una pulizia dei dati per ottenere un dataset più preciso, applicando ai dati grezzi tre maschere differenti che eliminano il cosiddetto "rumore di fondo".

Una volta applicato il modello di regressione, sia ai dati filtrati con le maschere, sia ai dati grezzi, gli esiti ottenuti da Roberts, confermano quanto detto sopra: la correlazione tra SOL e PIL esiste ed è significativa esclusivamente nei casi in cui si prenda in esame il dataset pulito con una o più delle maschere sopra citate.

Anche Anupam Amand e Do-Hyung Kim (2021), analizzando l'intensità luminosa proveniente dalle immagini del *VIIRS*, e tentando di dimostrare di poterla utilizzare come *proxy* dell'attività economica, effettuano una pulizia del loro dataset: eliminano i pixel di scarsa qualità e la luce lunare. Anche in questo caso, avendo dati più puliti, la correlazione risulta essere significativa.

La conclusione a cui si arriva, che poi analizzeremo meglio in capitoli successivi, dunque è che attività economica e intensità luminosa sono variabili dipendenti l'una dall'altra, esclusivamente quando i dati utilizzati sono stati sottoposti a pulizie e filtraggi più sofisticati.

4. Correlazione tra intensità luminosa e casi di COVID-19

4.1I dati

Per il secondo modello di regressione qui studiato, mettiamo a confronto i dati dell'intensità luminosa, con i casi di COVID-19 italiani confermati.

L'analisi viene effettuata a livello mensile, unità temporale minima per le immagini satellitari notturne, ed a livello provinciale. Il periodo di tempo preso in esame è quello che intercorre dalla scoperta del primo caso di persona affetta da Coronavirus in Italia, marzo 2020, fino a marzo 2021.

4.2I risultati

Per effettuare l'analisi sono state impostate le seguenti regressioni con il modello dei minimi quadrati:

$$\ln(\text{SOL}_{t,p}) = \alpha + \beta t + \gamma M + \delta(\text{Covid}_{t,p}) + \varepsilon t$$

[3]

$$\ln(\text{SOL}_{t,p}) = \alpha + \beta t + \gamma M + \delta(\text{Diff.Covid}_{t,p}) + \varepsilon t \quad [4]$$

Nella prima espressione [3] il logaritmo naturale dell'intensità luminosa, per ogni mese e per ogni provincia, viene regresso con un trend lineare (t), con una serie di *dummy* mensili, per catturare l'effetto del mese preso in esame, e con i

casi confermati di Covid-19, divisi per 1000, anche in questo caso per ogni mese e per ogni provincia.

Nella seconda equazione di regressione [4], invece, l'unica variante riguarda i casi di Covid-19, che in questo caso non vengono presi in maniera puntuale, ma viene calcolata la differenza tra il mese precedente e quello successivo.

	Casi Confermati	Casi Confermati - Differenza
	[3]	[4]
Febbraio	0.696*** (0.066)	0.057 (0.079)
Marzo	-3.537*** (0.072)	0.045 (0.162)
Aprile	-7.582*** (0.240)	-0.617 (0.594)
Maggio	-6.652*** (0.228)	-0.716 (0.501)
Giugno	-5.670*** (0.225)	-0.694 (0.439)
Luglio	-4.674*** (0.225)	-0.686* (0.381)
Agosto	-3.679*** (0.224)	-0.427 (0.319)
Settembre	-2.695*** (0.221)	-0.356 (0.253)
Ottobre	-1.727*** (0.216)	-0.293 (0.185)
Novembre	-1.001*** (0.179)	-0.162 (0.119)
Dicembre	-0.643*** (0.078)	
Casi totali	0.076*** (0.019)	
Trend lineare		-0.051 (0.067)
D.Casi totali		-0.017** (0.007)
Constant	698.506*** (0.297)	46565 -47187
Observations	1391	1264
R-squared	0.055	0.052

Adjusted R-squared	0.669	0.043
Note: ***, ** indicano una significatività all'1 e al 5 per cento		

Tabella 5 – Correlazione tra l'intensità luminosa e i casi confermati di COVID-19. Fonte dati: EOG e GitHub; Fonte immagine: Stata ed elaborazione propria

Come si evince dai dati riportati in tabella 5, effettuando le due regressioni sopra spiegate, entrambi i modelli sono significativi: in particolare nel primo caso, in cui come variabile indipendente utilizziamo i casi confermati di Covid-19 in Italia, il modello è significativo all'1%, riportando un R-quadro dello 0,055 ciò sta a significare che solamente il 5,5% del modello, spiega la variazione della nostra variabile dipendente, il logaritmo dell'intensità luminosa.

Per quanto riguarda, invece, il secondo caso analizzato, quello in cui la nostra variabile indipendente è la variazione dei casi di Covid-19 confermati, tra un mese ed il suo precedente, il modello ha un livello di significatività del 5%, con un R-quadro pari a 0,052, che sta a significare che il 5,2% della variazione del logaritmo dell'intensità luminosa è spiegata dal modello preso in esame.

In entrambi i modelli la variabile indipendente, il numero di casi di persone affette da Covid-19, risulta dunque essere in grado di spiegare la variazione di intensità luminosa, i modelli di regressione, però, in particolare [4], presentano un R-quadro abbastanza basso, che indica che occorrerebbe aggiungere ulteriori variabili per spiegare a pieno la variazione di SOL.

Sarebbe necessario, dunque, per entrambi i modelli, per eventuali lavori futuri, introdurre suddette variabili che spieghino al meglio i modelli, come, ad

esempio, delle variabili di tipo *dummy* per individuare le aree di colore (regolamentate dal DPCM del 4 novembre) di appartenenza di ciascuna provincia nel periodo esaminato.

5. Lavori futuri

Per continuare a sviluppare il presente lavoro di tesi, approfondendo ulteriormente l'argomento per ottenere risultati migliorati, si potrebbe pensare per prima cosa di effettuare una pulizia dei dati ottenuti dalle immagini satellitari dell'EOG.

Come anticipato nel capitolo precedente, infatti, utilizzando, come fatto, il dato grezzo la correlazione tra PIL e SOL non risulta essere significativa.

Applicando, invece, le tre maschere descritte da Roberts (2021) nel suo articolo scientifico, i risultati dovrebbero essere quelli desiderati: l'intensità luminosa, in questo caso, risulta essere un buon indicatore alternativo dell'attività economica.

La pulizia consiste nell'omettere le luci effimere, costruire un algoritmo di *clustering* in modo tale da filtrare i *pixel* troppo lontani dal *cluster* ottenuto ed infine eliminare le aree in cui non vi sono edifici e in cui non vi è popolazione.

Il secondo punto da sviluppare è quello di migliorare l'R-quadro ottenuto per il secondo modello analizzato, quello tra SOL e casi confermati di persone affette da Covid-19 in Italia.

Per spiegare al meglio la variazione dell'intensità luminosa, in questo caso, occorrerebbe inserire delle ulteriori variabili, in modo da catturare la quasi totalità della causa di variazione.

Ad esempio, potrebbero essere inserite delle variabili di tipo *dummy* che mappino l'entrata di una provincia in una determinata area di colore. Questo perché ad ogni area corrisponde un tipo di chiusura o apertura differente.

Le province appartenenti alla zona gialla, infatti, subiscono minori chiusure rispetto a quelle in zona rossa, a cui, verosimilmente corrisponderà una minore variazione di intensità luminosa.

Un'altra miglioria da applicare potrebbe essere quella di scendere ancora di livello temporale, arrivando ad esaminare il modello a livello giornaliero. La spiegazione per effettuare questa ulteriore modifica, nasce dal fatto che l'appartenenza di una determinata provincia ad una determinata zona di colore potrebbe cambiare anche nel corso dello stesso mese. Questo problema sarebbe risolto prendendo in esame l'intensità luminosa giornaliera e i relativi casi di Covid-19.

6. Conclusioni

In conclusione, dopo l'analisi effettuata e i risultati ottenuti, si può affermare che l'intensità derivante dalle luci notturne e gli indicatori economici, quali il PIL in questo caso preso in esame, sono correlati solo nel caso in cui i dati delle immagini satellitari vengano prima puliti e filtrati appositamente. Solo in questo caso, allora, come ci insegna la relativa letteratura scientifica, l'intensità

luminosa potrà essere utilizzata come *proxy* dell'attività economica, potendola mappare quasi in tempo reale, a livello temporale anche giornaliero e a livello geografico minimo.

Nel nostro caso, invece, avendo utilizzato i dati grezzi, così come estratti dalle immagini satellitari, i risultati suggeriscono che non vi sia correlazione tra le due variabili analizzate, risultati confermati anche dall'articolo di Roberts (2021), da cui siamo partiti.

Per il secondo modello analizzato, quello tra intensità luminosa e Covid-19, la correlazione invece esiste ed è significativa.

In questo caso, quindi, la variazione di intensità luminosa è spiegata in parte dall'aumento o dalla riduzione dei contagi. L'R-quadro ottenuto è maggiore quando la variabile che spiega i casi di Covid-19 non esprime la differenza tra i mesi, ma quando il dato preso in considerazione è il dato puntuale.

L'intensità luminosa, dunque, varia in funzione della variazione del numero di persone affette dal coronavirus, questo perché a contagi maggiori corrispondono chiusure maggiori, che portano ad una riduzione delle luci notturne.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio in primis il professor Buzzacchi e il professor De Marco per l'aiuto che mi hanno dato durante questi mesi nella stesura dell'elaborato, in particolare sono loro grata per la disponibilità che hanno dimostrato nei miei confronti, soprattutto nel fissare degli incontri in orari poco probabili o in giorni che sarebbero stati di riposo.

Ringrazio la mia famiglia: i miei genitori e mia sorella Federica grazie ai quali sono arrivata fino a qui e per la comprensione dimostrata durante l'ultimo periodo in cui lavoravo durante il giorno e scrivevo poi la tesi durante la sera.

Ringrazio Andrea per il supporto e per i consigli che mi ha fornito per scrivere al meglio e perché per ogni traguardo che riesco a raggiungere, è felice come fosse suo.

Ringrazio i miei compagni di viaggio Eugenio, Lorenzo e Simone, senza i quali il mio percorso universitario sarebbe sicuramente stato più noioso ed anche un po' più difficile.

Ringrazio tutti i miei amici che sono stati e sono tutt'ora la perfetta distrazione allo stress universitario e lavorativo.

Ringrazio infine Piero e Cesare, i quali con il loro caldo affetto mi hanno tenuto compagnia, prima l'uno e poi l'altro, durante la scrittura.

BIBLIOGRAFIA

Abrahams A., Christopher O., Lozano-Gracia N. Deblurring DMSP night-time lights: A new method using Gaussian filters and frequencies of illumination. In *Remote Sensing of Environment* 210(1), 2018,242-258.

Anand A, Kim D-H. Pandemic Induced Changes in Economic Activity around African Protected Areas Captured through Night-Time Light Data. In *Remote Sensing*. 2021; 13(2):314.

Beyer, R.C.M., S. Franco-Bedoya, and V. Galdo (2020). Examining the Economic Impact of COVID-19 in India through Daily Electricity Consumption and Nighttime Light Intensity. In World Bank Policy Research Working Paper No. 9291, Washington, D.C.: The World Bank.

Bickenbach, F., Bode, E., Nunnenkamp, P. et al. Luci notturne and regional GDP. In *Rev World Econ* 152, 425–447 (2016).

Bluhm R., Krause M. Top lights - bright cities and their contribution to economic development. In CESifo Working Paper No. 7411, 2018.

C.D. Elvidge, K.E. Baugh, M. Zhizhin, F. Chi, T. Ghosh VIIRS night-time lights In *International Journal of Remote Sensing*, 38 (21) (2017).

Chen X., Nordhaus W. Using luminosity data as a proxy for economic statistics. In Proceedings of the National Academy of Sciences 108(21), 2011, 8589-8594.

Doan, Vu Nguyen and Nguyen, Canh and Noy, Ilan and Sawada, Yasuyuki, The Economic Impacts of a Pandemic: What Happened after SARS in 2003? (2020). In CESifo Working Paper No. 8687.

Elvidge C., Baugh K., Zhizhin M., Hsu F-C. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping night time lights. In Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network 35(1), 2013, 62-69.

Elvidge CD, Ghosh T, Hsu F-C, Zhizhin M, Bazilian M. The Dimming of Lights in China during the COVID-19 Pandemic. In *Remote Sensing*. 2020; 12(17):2851.

Elvidge C.D., Hsu FC., Baugh K.E., Ghosh T. (2017) Lighting Tracks Transition in Eastern Europe. In: Gutman G., Radeloff V. (eds) Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991. In Springer, Cham.

Gang Xu, Tianyu Xiu, Xi Li, Xinlian Liang, Limin Jiao. Lockdown induced night-time light dynamics during the COVID-19 epidemic in global megacities, In International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 102, 2021, 102421, ISSN 0303-2434.

Ghosh T, Elvidge CD, Hsu F-C, Zhizhin M, Bazilian M. The Dimming of Lights in India during the COVID-19 Pandemic. In *Remote Sensing*. 2020; 12(20):3289.

Gibson J., Olivia S., Boe-Gibson G. Luci notturne in economics: Sources and uses. In *Études et Documents*, n° 1, CERDI, 2020.

Henderson J. V., Storeygard A., Weil D. N. Measuring economic growth from outer space. In *American Economic Review* 102 (2), 2012, 994–1028.

Jechow A, Hölker F. Evidence That Reduced Air and Road Traffic Decreased Artificial Night-Time Skyglow during COVID-19 Lockdown in Berlin, Germany. In *Remote Sensing*. 2020; 12(20):3412.

Li, X., & Li, D. (2014). Can night-time light images play a role in evaluating the Syrian Crisis? In *International Journal of Remote Sensing*, 35, 6648–6661.

Liu Q, Sha D, Liu W, Houser P, Zhang L, Hou R, Lan H, Flynn C, Lu M, Hu T, Yang C. Spatiotemporal Patterns of COVID-19 Impact on Human Activities and Environment in Mainland China Using Nighttime Light and Air Quality Data. In *Remote Sensing*. 2020; 12(10):1576.

Luca Coscieme, Paul C. Sutton, Sharolyn Anderson, Qing Liu & Christopher D. Elvidge (2017). Dark Times: nighttime satellite imagery as a detector of regional disparity and the geography of conflict,. In *GIScience & Remote Sensing*, 54:1, 118-139, DOI: 10.1080/15481603.2016.1260676

Molthan, A., & Jedlovec, G. J. (2013). Satellite observations monitor outages from Superstorm Sandy. In *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94, 53– 54.

Roberts, Mark. 2021. Tracking Economic Activity in Response to the COVID-19 Crisis Using Nighttime Lights: The Case of Morocco. Policy Research Working Paper;No. 9538. World Bank, Washington, DC. © World Bank.

Roma'n MO, Stokes EC, Shrestha R, Wang Z, Schultz L, Carlo EAS, et al. (2019). Satellite-based assessment of electricity restoration efforts in Puerto Rico after Hurricane Maria. In *PLoS ONE* 14(6): e0218883.

Small, C., Sousa, D. Spatiotemporal evolution of COVID-19 infection and detection within night light networks: comparative analysis of USA and China. In *Appl Netw Sci* 6, 10 (2021).

Straka W III, Kondragunta S, Wei Z, Zhang H, Miller SD, Watts A. Examining the Economic and Environmental Impacts of COVID-19 Using Earth Observation Data. In *Remote Sensing*. 2021; 13(1):5.

Sutton P. C., Costanza, R. Global estimates of market and non - market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. In *Ecological Economics*, 41(3), 2002, 509 – 527.

Xi Li, Rui Zhang, Chengquan Huang & Deren Li (2015). Detecting 2014 Northern Iraq Insurgency using night-time light imagery. In *International Journal of Remote Sensing*, 36:13, 3446-3458, DOI: 10.1080/01431161.2015.1059968.

Xiong, X., et al.: VIIRS on-orbit calibration methodology and performance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119(9), 5065–5078 (2014).

SITOGRAFIA

<https://github.com/pcm-dpc/COVID-19/tree/master/dati-province>

<http://www.sitiarcheologici.palazzochigi.it/www.governo.it/febbraio%202021/it/coronavirus-misure-del-governo.html>

<https://www.salute.gov.it/portale/nuovocoronavirus/dettaglioNotizieNuovoCoronavirus.jsp?lingua=italiano&menu=notizie&p=dalministero&id=4209>

<https://www.quotidiano.net/cronaca/colori-regioni-oggi-1.5943112>

<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data/viirs-nrt>

<https://payneinstitute.mines.edu/eog/nighttime-lights/>

<https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>

https://www.nikonimsgsupport.com/eu/BV_article?articleNo=000006414&configured=1&lang=it

<https://www.istat.it/it/archivio/222527>

