



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MACERATA

**CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
QUANTITATIVE METHODS FOR POLICY EVALUATION
CICLO XXXVI**

TITOLO DELLA TESI

LA RESILIENZA TERRITORIALE: RIFERIMENTI TEORICI E APPROCCI DATA DRIVEN PER POLITICHE BASATE SULL'EVIDENZA

SUPERVISORE DI TESI

Chiar.mo Prof. ELEONORA CUTRINI

DOTTORANDO

Dott. FEDERICO NINIVAGGI

COORDINATORE

Chiar.mo Prof. LUCA DE BENEDICTIS

ANNO 2024

INDICE

PREFAZIONE	4
CAPITOLO I: PER UN'ARCHITETTURA DELLA RESILIENZA: IL TRADE-OFF TRA EFFICIENZA E RIDONDANZA NELLE RETI. UN FRAMEWORK TEORICO	12
1.1 CONTESTO E DEFINIZIONE DELLA RESILIENZA	12
1.2 RIDONDANZA, EFFICIENZA E SOSTENIBILITÀ	16
1.3 EMPIRICAL EVIDENCES.....	22
1.4 IL MODELLO	29
1.5 CONCLUSIONI ED IMPLICAZIONI DI POLITICA ECONOMICA	33
CAPITOLO II: BENESSERE E VULNERABILITÀ DEI TERRITORI IN ITALIA: UN'ANALISI BASATA SU OPENSTREETMAP	36
2.1 LA MISURAZIONE DELLA RESILIENZA.....	36
2.2 OLTRE IL PIL. LA RESILIENZA COME MISURA DI BENESSERE.....	40
2.3 LA VALUTAZIONE DEL BENESSERE ATTRAVERSO IL REMOTE SENSING. CONTESTO E LETTERATURA	54
2.4 OPENSTREETMAP	66
2.5 APPLICAZIONI DEI DATI OPENSTREETMAP ALLA RICERCA SOCIOECONOMICA	74
2.6 L'ANALISI: DATI E METODOLOGIA.....	79
2.7 RISULTATI.....	83
2.8 SCALABILITÀ DEL METODO: POSSIBILI ESTENSIONI E VERIFICHE DI ROBUSTEZZA	94
2.9 CONCLUSIONI E SPUNTI PER LA RICERCA FUTURA	102
CAPITOLO III: SOPRAVVIVERE ALLA PANDEMIA: UN'INDAGINE SUI FATTORI DI RESILIENZA DELLE IMPRESE MANIFATTURIERE ITALIANE	104
3.1 INTRODUZIONE	104
3.2 CONTESTO DELL'ANALISI, MOTIVAZIONE E REVISIONE DELLA LETTERATURA.....	105
3.3 DATI E PROCESSO DI DATA QUALITY & PREPARATION.....	110
3.4 STRATEGIA EMPIRICA.....	114
3.5 RISULTATI DELL'ANALISI	116
3.6 CONCLUSIONI E SPUNTI PER LA RICERCA FUTURA	122
POSTFAZIONE	124
RINGRAZIAMENTI	127
BIBLIOGRAFIA	128
BIBLIOGRAFIA PREFAZIONE	128
BIBLIOGRAFIA CAPITOLO I	130
BIBLIOGRAFIA CAPITOLO II.....	135
BIBLIOGRAFIA CAPITOLO III	145

APPENDICE..... 149
APPENDICE CAPITOLO II..... 149
APPENDICE CAPITOLO III 154

PREFAZIONE

Il nuovo millennio ha segnato l'inizio di una nuova fase storica di profondo rinnovamento a livello globale, toccando gli ambiti economico, sociale e politico. Come affermato da Bauman (2013) nel suo "*Liquid Modernity*", la parola chiave di questo periodo potrebbe essere "instabilità". Per primi sono stati gli attentati dell'11 settembre 2001 al *World Trade Center* di New York a mettere in evidenza la crescente interconnessione globale e la necessità di andare oltre una prospettiva strettamente nazionale, costringendo l'Occidente ad accorgersi dei rischi della globalizzazione, un processo ormai da decenni avviato, e di quanto fosse anacronistico ragionare per categorie tra loro indipendenti. I primi anni Duemila, il decennio Duemiladieci, fino ai giorni più recenti hanno continuato a mostrare quanto il mondo sia ormai interconnesso e sia diventato contemporaneamente altrettanto fragile in tutte le sue dimensioni, sociali, economiche (Stiglitz, 2010), e ambientali. Attraversiamo una fase storica di cronica fragilità multidimensionale, con shock che si propagano in modo rapido e pervasivo. La "guerra al terrore" ha portato a conflitti in molte regioni del mondo, mentre la crisi finanziaria del 2008 ha dimostrato come uno shock finanziario negli USA si sia potuto trasmettere a tutte le economie avanzate fino ad intaccare le finanze pubbliche dei paesi dell'Europa Mediterranea (Krugman, 2009), gettando il continente in un lungo periodo di contrazione economica. Il 2020, ha visto il mondo fermarsi a causa di una pandemia costringendo a modificare radicalmente i nostri modelli di vita, mentre la recente guerra scoppiata al confine dell'Europa tra Ucraina e Russia ha avuto gravi conseguenze economiche in settori chiave come quello della logistica, delle materie prime e dell'energia. Infine, nell'estate 2023 si è assistito, come già Klein (2015) nel suo "*This Changes Everything: Capitalism vs. The Climate*" aveva ampiamente discusso, diffusamente agli effetti deleteri del cambiamento climatico. Grecia, Italia, Spagna, Nord Africa, le Hawaii e Cina tutti paesi colpiti nel giro di poche settimane da eventi estremi senza precedenti. Quale che sia la scala dimensionale di analisi o il settore oggetto di studio è evidente come la caratteristica che accomuna ogni agente economico in qualsiasi contesto sia la connessione con altri agenti all'interno di una rete più o meno vasta. È attraverso queste connessioni tra agenti, o nodi, della rete che anche gli shock, al pari delle informazioni, della materia e del know-how, tendono a propagarsi. Il livello di connettività raggiunto a livello globale a ridosso della recente crisi pandemica non aveva avuto precedenti nella storia. Ciò si è reso possibile anche grazie al recente sviluppo di tecnologie che hanno permesso di superare il limite geografico-topologico della connessione.

Viviamo in sistemi complessi, estesi e con gradi di connettività mai registrati prima. Se da un lato questo ha permesso all'economia globale di prosperare per lunghi periodi, dall'altro ha mostrato

anche il suo lato negativo nella crescente vulnerabilità del sistema in generale oltre che dei singoli nodi. Le nuove reti, così estese e connesse, di fronte a shock così diversi; eppure, così ravvicinati tra loro, necessitano di nuovi strumenti e modelli per affrontare tutto questo. L'approccio reattivo adottato finora ha mostrato le sue debolezze. Viviamo in una "società del rischio" (Beck, 1992) in cui le emergenze sono diventate la norma piuttosto che l'eccezione. Lo stato emergenziale che per definizione dovrebbe essere circoscritto ad eventi e periodi rari è di fatto diventato perenne. Le società moderne sono sempre più caratterizzate da rischi che non possono essere confinati all'interno delle frontiere nazionali o categorizzati secondo le tradizionali distinzioni tra pubblico e privato. Questi rischi, spesso prodotti come effetti collaterali indesiderati della modernizzazione stessa, sono pervasivi e spesso invisibili, come nel caso del cambiamento climatico. Ciò che rende la società del rischio unica, è che questi pericoli sono spesso prodotti dalla stessa società che cerca di controllarli. Le nostre comunità sono incessantemente in stato di emergenza. Lo sono i territori post-alluvionati non in grado di riprendersi da un evento che devono far fronte a nuova distruzione, come è stato nell'estate 2023 per l'Emilia-Romagna, lo sono i sistemi sanitari di tutta Europa già colpiti dalla crisi pandemica e assetati di risorse per poter adeguare i servizi a popolazioni sempre più anziane. Lo sono i sistemi produttivi e del lavoro stretti nella morsa dei colli di bottiglia della logistica, del costo dell'energia, dell'instabilità geopolitica e delle politiche monetarie necessarie a riequilibrare l'economia colpita dal precedente shock. Il tempo di reazione necessario a preparare gli ecosistemi che viviamo alla prossima crisi si sono di fatto azzerati. Le società contemporanee, come già scritto, continuamente esposte a una successione rapida e imprevedibile di shock, si trovano in una posizione unica nella storia. Questi eventi, siano essi di natura climatica, sociosanitaria o economica, hanno messo in luce la necessità di sviluppare sistemi che non solo rispondano alle crisi, ma siano anche proattivi nel prevenirle o almeno mitigarne gli impatti (Folke et al., 2010; Berkes e Ross, 2013).

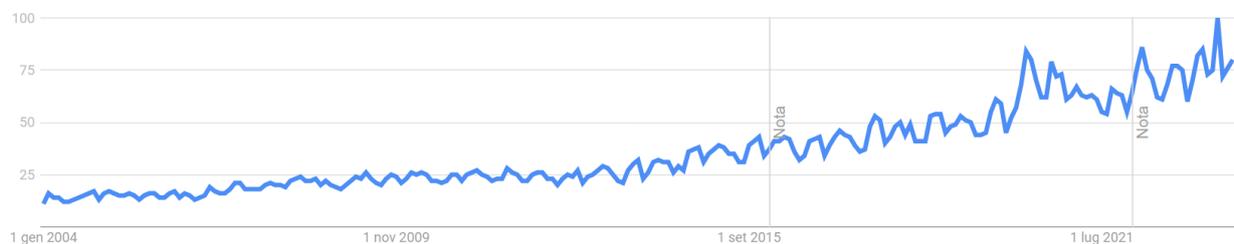
La risposta potrebbe risiedere nel concetto di "resilienza". La parola deriva dal latino "resilire" traducibile come rimbalzare o fare un salto indietro (Martin 2012; Reggiani 2013; Rose 2009). Il primo uso del termine "resilienza" in ambito scientifico fu da parte di Webster nel campo della fisica classica nel 1824. La resilienza inizialmente venne pertanto definita come la capacità di un materiale di ritornare alla sua condizione iniziale in termini di dimensioni e forma dopo la deformazione dovuta ad uno shock di compressione. Tale termine, come espresso da Holling (1973) e successivamente sviluppato in diverse discipline, si riferisce alla capacità di un sistema di assorbire perturbazioni, riorganizzarsi e proseguire con le proprie funzioni. Le società potrebbero essere ri-progettate ponendo una forte enfasi sulla resilienza, per affrontare efficacemente le sfide di un mondo sempre più interconnesso e rapido cambiamento. La resilienza, nel contesto sociale e sistemico, va quindi oltre

la semplice capacità di ritornare allo stato iniziale dopo un evento. Si tratta di sviluppare la capacità di adattarsi e prosperare in un ambiente in rapida evoluzione, anticipando e preparandosi ai cambiamenti futuri (Norris et al., 2008). In tal senso, non riguarda solo la resistenza agli shock, ma anche l'apprendimento da essi. Orientarsi verso la resilienza richiede un cambio di mentalità. Occorre abbandonare l'idea che le società possano tornare allo stato di equilibrio, se mai ne esistesse uno, dopo una crisi. L'obiettivo diventa invece quello di navigare tra le perturbazioni, apprendendo e adattandosi di conseguenza (Brand e Jax, 2007; Gallopín, 2006). In questo senso diventano centrali la promozione della diversità e della ridondanza. In natura, gli ecosistemi con una maggiore biodiversità sono spesso più resilienti agli shock (Elmqvist et al., 2003). Come sarà illustrato nel capitolo 1, la biodiversità in agricoltura rappresenta il pilastro fondamentale per la resilienza e la sostenibilità dei sistemi agroecologici. Analogamente, le società che promuovono la diversità – sia in termini di pensiero, competenze, risorse o infrastrutture – sono meglio attrezzate per gestire e rispondere alle crisi in modi innovativi. Allo stesso modo, le strutture ridondanti nelle connessioni e nelle reti, che siano informative o infrastrutturali, giocano un ruolo cruciale nella promozione della resilienza. Una società connessa, dove informazioni, risorse e competenze possono fluire liberamente, in assenza di “colli di bottiglia”, può rispondere più rapidamente alle crisi (Bodin e Crona, 2009). È essenziale che queste reti siano flessibili, permettendo alle società di riorganizzarsi in risposta agli shock. È ormai evidente come gli shock continueranno a presentarsi con una frequenza sempre maggiore. Orientare le società verso la resilienza può offrire un percorso non solo per sopravvivere, ma per prosperare in questo nuovo paradigma. Con la giusta combinazione di strategie e risorse, le società possono trasformare queste sfide in opportunità, dando forma a un futuro più sostenibile e resiliente.

Il primo lavoro presentato in questa tesi dal titolo “Per un’architettura della resilienza: il trade-off tra efficienza e ridondanza nelle reti. un framework teorico” intende offrire una nuova prospettiva per la definizione delle relazioni che si instaurano tra la ridondanza, considerato uno dei principali motori della resilienza, la vulnerabilità, alla quale ogni sistema è esposto, con l’obiettivo di mitigarla, e l’efficienza, ad oggi spesso fine unico dell’organizzazione dei sistemi economici. Saranno identificate delle relazioni tra queste grandezze rispetto al grado di connettività proprio di ogni sistema complesso. Tra le conclusioni principali il framework proposto in questo lavoro identificherà un trade-off tra ridondanza ed efficienza, così come per certi livelli di crescita della connettività nei sistemi si ipotizzerà un aumento della ridondanza tale da mitigare la vulnerabilità del sistema. Tale proposta teorica vuole essere la base per un lavoro più esteso che porti alla realizzazione di un sistema di valutazione integrato a supporto dei policy-maker per l’identificazione e la risoluzione di criticità

delle reti attraverso l'individuazione del giusto mix di politiche per lo sviluppo sostenibile delle economie moderne. In definitiva si intende offrire un sistema di valutazione per la comprensione delle performance di un sistema in presenza di differenti rischi. Ci sono segnali importanti di come il mondo si stia orientando verso la resilienza. Di seguito il grafico estratto da Google Trend mostra l'andamento sul motore di ricerca per la parola *resilience* in tutto il mondo dal 2004 ad oggi. Il picco nella ricerca della parola a livello globale è stato raggiunto in tempi recenti. Tuttora, la ricerca della parola ha una tendenza in crescita con un primo exploit avuto a cavallo dell'inizio della pandemia da COVID-19.

Figura 1. Trend di ricerca del termine resilienza su scala globale



Fonte: Google Trend consultato il 13/09/2023

Nel 1973, Holling introduce il termine resilienza in ecologia determinando una prima differenziazione del termine rispetto a quello inizialmente utilizzato nell'ambito della fisica classica. In una prospettiva ecologica, il termine resilienza assume un significato un po' diverso: in questo contesto l'interesse principale si sposta dalla immutabilità del comportamento alla persistenza della struttura della relazione (Holling 1973, p.1 citato in Modica e Reggiani, 2015). Il concetto di resilienza è stato successivamente declinato in molteplici campi disciplinari: in ingegneria, in economia, nella psicologia sociale e persino nella sfera psicologica individuale. L'analisi della resilienza nell'ambito individuale e psicologico ha radici storiche profonde. Studiosi come Werner (1995) indagarono le dinamiche sottostanti la capacità di alcuni individui, specialmente bambini, di prosperare nonostante le avversità. Il loro lavoro sottolineò quanto fosse fondamentale l'interazione tra risorse interne, come l'autoefficacia, e risorse esterne, come il supporto sociale, per la promozione della resilienza. Nell'ambito della psicologia positiva, Seligman (2002) esplorò il legame tra resilienza e benessere psicologico, identificando questa qualità non solo come un tratto caratteriale, ma come una competenza che può essere sviluppata e rafforzata. Successivi studi, come quelli di Masten (2001), hanno confermato come la resilienza non sia una qualità statica, ma piuttosto dinamica, modellata da una combinazione di fattori genetici, ambientali e individuali. Negli anni più recenti, la resilienza ha

anche trovato spazio nelle ricerche cliniche. Luthar (2015) ha approfondito il concetto di "resilienza autentica", esplorando le modalità con cui le persone affrontano e superano traumi e avversità. Studi di questo genere hanno rivelato come anche in ambito psicologico, sebbene la resilienza possa manifestarsi in maniera differente in ciascun individuo, vi sono determinati pattern e strategie che possono essere utilizzati per promuoverla.

Da questo breve excursus emerge come la tematica della resilienza, nel suo significato profondo e multidimensionale, sia diventata fondamentale per comprendere come individui e società affrontino le sfide. Il progetto di dottorato ha l'obiettivo di contribuire all'individuazione delle misure per la valutazione della resilienza territoriale. Come già accennato, esistono numerose definizioni di resilienza, ciascuna aderente allo specifico ambito di indagine. Oltre agli aspetti teorici legati alla creazione di teorie della resilienza capaci di identificare e mettere in relazione le diverse determinanti, uno degli aspetti più esplorati in letteratura riguarda l'individuazione delle misure per la valutazione della resilienza territoriale. Pike et al. (2010) hanno sottolineato come la resilienza territoriale sia un concetto multidimensionale che va oltre un singolo indicatore trattandosi di una combinazione di fattori sociali, economici, ambientali e infrastrutturali che determinano la capacità di una regione di adattarsi, recuperare e crescere di fronte a sfide impreviste. Nel loro studio, Pike et al. propongono un framework di valutazione esteso che prende in considerazione variabili diverse, di natura economica, sociale ed anche variabili legate alla governance locale.

Per rispondere alla domanda su come misurare al meglio la resilienza occorre si incontrino due aspetti: la dimensione teorica, relativa all'identificare ciò che si pensa sia il core della resilienza rispetto al fenomeno indagato, e la disponibilità effettiva dei dati per poter dar seguito e concretezza al fenomeno che si è deciso essere misura di resilienza. Questo secondo aspetto è quello che più spesso si profila come limite, *constraint*, all'infinita possibilità che l'elaborazione teorica permette. L'indisponibilità di dati a scale locali o sub-regionali è spesso il tallone d'Achille della ricerca sulla resilienza. Questo deficit spesso limita la capacità di comprensione di come alcune aree possano rispondere e prepararsi alle sfide, sia esse di natura ambientale, economica o sociale. L'importanza di dati specifici e dettagliati a livello locale è stata evidenziata da Cutter et al. (2014). Nel loro articolo, gli autori presentano un modello incentrato sulla comprensione della resilienza delle comunità in relazione ai disastri naturali. Sottolineano come l'accesso a dati a scala fine, come quelli a livello sub-regionale, sia fondamentale per comprendere i fattori di rischio e le capacità di adattamento delle comunità. Cutter et al. (2014) non sono stati i soli a rilevare tali limiti. Bruneau et al. (2003), nel loro lavoro sulle metriche della resilienza, hanno evidenziato le difficoltà nel raccogliere dati sufficientemente dettagliati per valutare la resilienza delle infrastrutture urbane. Altri lavori hanno

sottolineato come molte strategie di resilienza urbana siano limitate dalla mancanza di dati a livello di quartiere (Galderisi, 2014). Ancora, Adger et al. (2005) hanno studiato la resilienza delle aree costiere identificando la mancanza di dati sub-regionali come una delle principali barriere alla creazione di strategie di adattamento efficaci. Da un punto di vista più metodologico, l'assenza di dati a granularità fine può influenzare gli esiti dei modelli di resilienza. Le implicazioni sociali dell'indisponibilità di dati sono state esaminate da Folke et al. (2010), sottolineando che senza informazioni dettagliate a livello comunitario, potremmo non comprendere completamente in che maniera le diverse popolazioni siano vulnerabili a vari shock. Infine, Vale (2014) ha esaminato la resilienza post-disastro nelle città e ha sottolineato come l'assenza di dati dettagliati a livello locale possa ostacolare la ricostruzione e la pianificazione futura.

Tutti i lavori sottolineano l'importanza fondamentale di avere accesso a rilevazioni di alta qualità e granularità per compiere progressi significativi nel campo della resilienza territoriale. Molto spesso di fronte all'idea di indagare uno specifico fenomeno ci si scontra con l'indisponibilità di dati con cui dar seguito alla domanda di ricerca. Maggiore la granularità di scala territoriale indagata minore è la disponibilità di informazioni. Tale deficit rischia di impattare fortemente sull'elaborazione di strategie efficaci o anche solamente del monitoraggio socioeconomico delle politiche territoriali già in atto. Accanto alla granularità, un'altra barriera all'utilizzo dei dati nella misurazione della resilienza è associata alla temporalità. La frequenza con la quale vengono aggiornati e resi disponibili rappresenta una delle questioni nodali quando ci si confronta con fenomeni dinamici e in rapida evoluzione, come la resilienza territoriale. In un mondo globalizzato e in rapido cambiamento, il divario temporale tra la raccolta e la pubblicazione dei dati può rendere le informazioni obsolete, compromettendo la capacità di rispondere adeguatamente ai cambiamenti. Berkes e Ross (2013) hanno sottolineato la scarsa utilità di informazioni non tempestive nella misurazione della resilienza, specialmente in contesti di crisi. Questa osservazione è condivisa con Boin e 't Hart (2010), per cui la carenza di dati aggiornati può complicare la gestione delle crisi, riducendo la capacità delle autorità di prendere decisioni informate. Anche Kates et al. (2012) hanno esplorato la questione, focalizzandosi sulla resilienza rispetto agli eventi climatici estremi. La loro ricerca suggerisce l'importanza di disporre di dati tempestivi per guidare in modo efficace le azioni di prevenzione e risposta. Hallegatte (2012) ha discusso l'effetto di dati obsoleti sulla percezione delle vulnerabilità economiche, sottolineando come ciò possa influenzare negativamente le strategie di mitigazione del rischio. In modo analogo, Tierney (2012) ha evidenziato come le comunità svantaggiate possano essere particolarmente vulnerabili alla mancanza di dati tempestivi, mancando di risorse adeguate ad affrontare nuove minacce emergenti. Tra le più recenti manifestazioni circa la necessità di dati

temporalmente adeguati c'è l'ambito sanitario dove l'assenza di dati tempestivi sulla diffusione delle malattie ha mostrato come possa essere determinante nel ritardare la risposta alla diffusione delle epidemie, portando a interventi meno efficaci nella gestione delle crisi sanitarie, evidenza emersa nella gestione della recente crisi pandemica da COVID- 19. In sintesi, la letteratura accademica è concorde nel sottolineare l'importanza critica di ridurre il gap temporale nella raccolta e pubblicazione dei dati, per garantire che essi possano servire al meglio la comprensione e la gestione dei fenomeni socioeconomici dinamici. Da queste valutazioni si è sviluppata l'idea di provare a contribuire all'identificazione di una base dati da poter impiegare per analisi utili al decisore politico che si dimostri essere scalabile ed efficace temporalmente in un ambiente economico e sociale che sempre più velocemente muta.

Il secondo lavoro di questa tesi dal titolo "Benessere e vulnerabilità dei territori in Italia: un'analisi basata su Openstreetmap" affronta queste tematiche indagando la capacità di predire indicatori tradizionali di benessere rilasciati dall'ISTAT da parte dei dati OpenStreetMap sulle attività umane. L'analisi è sviluppata principalmente a scala provinciale. In un secondo momento indaga con due case study il potenziale di scalabilità dei risultati ottenuti a scale con più fine granularità come quella comunale e a livello di municipi per la città di Roma.

Il terzo lavoro dal titolo "Sopravvivere alla Pandemia: un'indagine sui fattori di resilienza delle imprese manifatturiere italiane" si concentra sulla misura della resilienza delle imprese specificatamente allo shock della pandemia da COVID-19. La nozione di resilienza è connessa intrinsecamente a quella di shock, che determina la perturbazione del sistema, ed è rispetto a quest'ultimo che la si vuole studiare. Da qui il legame con l'idea di vulnerabilità, ovvero la propensione al danno, caratteristica preesistente allo shock, ad esso legata attraverso l'idea di rischio. Resilienza come framework di valutazione per la comprensione delle performance di un sistema in presenza di differenti rischi. Gli shock possono essere diversi per tipologia – naturali, sanitari, sociopolitici ed economici – durata e intensità. Possono presentarsi come eventi improvvisi, eventi naturali estremi, o come eventi gradualmente, si pensi ai cambiamenti tecnologici, alle trasformazioni politiche più o meno repentine e al cambiamento climatico. Ne consegue che anche rispetto a queste caratteristiche, le tecniche di analisi e nozioni riferite alla resilienza si modifichino adattandosi al contesto di ricerca proposto di volta in volta. L'esistenza di molteplici shock di diversa natura rende complesso poter generalizzare su come un evento possa influenzare la resilienza di un sistema, poiché ogni elemento che compone l'oggetto di analisi può adattarsi bene a un tipo di shock, favorendone la resilienza e al contrario favorire la vulnerabilità di fronte ad un altro tipo di perturbazione. A seconda dello shock cui si fa riferimento occorre necessariamente cambiare le determinanti necessarie alla

misurazione della capacità di resilienza del sistema indagato. Con questo lavoro si vuole offrire un contributo alla letteratura sulla resilienza fornendo alcune prime evidenze per il settore manifatturiero italiano circa i fattori aziendali interni ed esterni che sono risultati determinanti per le imprese nel superare lo shock economico causato dalla pandemia. In linea con lavori recenti, lo studio rileva che le microimprese, le imprese altamente indebitate e meno produttive hanno avuto una maggiore probabilità di uscire dal mercato nel triennio 2019-2022. I risultati supportano inoltre l'ipotesi secondo cui la presenza digitale e la solidità finanziaria hanno favorito la sopravvivenza delle imprese. Al di là dei fattori specifici dell'impresa, si sottolinea come la capacità di resilienza di un'impresa sia connessa anche ai suoi legami esterni, come la partecipazione a un gruppo o ad un contatto di rete. Per quanto riguarda i fattori ecosistemici locali, si conferma l'importanza delle esternalità positive associate a un ambiente locale innovativo nel mitigare la probabilità di chiusura durante la crisi da COVID-19.

I lavori di questa tesi condividono un obiettivo comune: contribuire alla letteratura sulla resilienza colmando tre importanti gap riscontrati. Sul piano teorico, viene fornito un nuovo framework di riferimento per valutare le determinanti della resilienza nei sistemi complessi. Per quanto riguarda le evidenze empiriche, la messa a disposizione di dati inediti a scala sub-regionale può rappresentare una nuova risorsa per chi intenda monitorare l'evoluzione territoriale in termini di benessere, sia dal punto di vista economico, che sociale ed ambientale. La capacità di tracciare questi cambiamenti in tempo reale e con precisione potrebbe offrire un vantaggio significativo ai decisori politici e alle istituzioni. Infine, mettere in relazione uno specifico shock come quello pandemico alle dinamiche di sopravvivenza delle imprese del settore manifatturiero italiano pone evidenze importanti circa i nuovi driver per costruire imprese resilienti. La pandemia ha rappresentato una sfida senza precedenti per molte aziende, e comprendere tempestivamente quali siano state le leve che abbiano permesso a molte di esse di resistere, adattarsi e infine prosperare, è di fondamentale importanza per prepararsi a nuovi shock simili che potrebbero ripresentarsi. I lavori condividono poi un focus metodologico specifico quale quello dell'utilizzo di micro-dati combinato a tecniche di *data analysis*. Questa combinazione ha reso possibile offrire una prospettiva dettagliata dei fenomeni studiati, permettendo di integrare diverse informazioni da altrettante basi dati e utilizzando, quando necessario, tecniche relativamente nuove.

CAPITOLO I: PER UN'ARCHITETTURA DELLA RESILIENZA: IL TRADE-OFF TRA EFFICIENZA E RIDONDANZA NELLE RETI. UN FRAMEWORK TEORICO

1.1 CONTESTO E DEFINIZIONE DELLA RESILIENZA

L'impiego della nozione di "resilienza" è diventato una prassi consueta nel linguaggio contemporaneo. Esistono numerose definizioni di resilienza, ciascuna aderente allo specifico ambito di indagine. Il termine ha origine in contesti disciplinari diversi da quello dell'economia politica. Uno dei primi utilizzi sistematici del concetto si trova nella letteratura ecologica, in particolare nel lavoro di Holling (1973) dove il termine è definito come alternativa alla "stabilità", ritenuto insufficiente per descrivere determinati fenomeni osservati nei sistemi ecologici. L'autore ritiene che, fino ad allora, si fosse utilizzato il termine stabilità per convenienza, principalmente dettata dalle enormi difficoltà analitiche nel trattare i sistemi non lineari nel percorso lontano dal sentiero di equilibrio. *“In ecology, at least, this has caused confusion since, in mathematical analyses, stability has tended to assume definitions that relate to conditions very near equilibrium points. This is a simple convenience dictated by the enormous analytical difficulties of treating the behaviour of non-linear systems at some distance from equilibrium”* (Holling, 1973, pp. 17). Il concetto di stabilità viene circoscritto all'abilità di un sistema di ritornare all'equilibrio dopo una perturbazione temporanea. Per comprenderne la portata applicativa è essenziale riconoscere come, sin dalla definizione originaria, la resilienza implicasse una visione dinamica dei sistemi, in cui le capacità adattive e le potenzialità di trasformazione rivestono un ruolo centrale. La resilienza in ecologia è definita come la capacità di un sistema di rispondere ad un disturbo riorganizzandosi, ovvero sia, modificando la propria struttura. Più in generale, la nozione di resilienza è connessa intrinsecamente a quella di shock, un evento che determina una perturbazione del sistema, ed è rispetto a quest'ultimo che la si vuole studiare. Da qui il legame con l'idea di vulnerabilità, ovvero la propensione al danno, caratteristica preesistente allo shock, ad esso legata attraverso l'idea di rischio. La vulnerabilità di un sistema complesso può essere definita come la misura o il grado di suscettibilità di un sistema (socioeconomico) nel suo complesso o di uno qualsiasi dei suoi componenti a subire danni o perdite in presenza di eventi avversi perturbazioni o pressioni esterne dannose (Adger, 2000, Seeliger e Turok, 2013). Oltre ad avere carattere esogeno dipendente da uno shock proveniente dall'esterno del sistema e dalle caratteristiche invarianti proprie del contesto e della natura del sistema, la vulnerabilità ha anche un carattere “strutturale” endogeno (Graziano e Rizzi, 2020) riferito alla struttura organizzativa topologica e funzionale-connettiva propria degli elementi di un sistema. La vulnerabilità di una rete dipenderà

quindi anche dalle forme assunte dalle relazioni tra i nodi, alla varietà e all'intensità delle connessioni esistenti e alle gerarchie strutturali presenti all'interno del sistema e nei sottosistemi del network. Uno stesso shock sarà assorbito in maniera diversa da due diversi sistemi, in virtù della diversa struttura e conformazione della rete o delle reti che li compongono. La resilienza secondo Holling "*determines the persistence of relationships within a system and is a measure of the ability of these systems to absorb changes of state variables, driving variables, and parameters, and still persist*" (Holling, 1973, pp. 17). Tale caratterizzazione l'ha reso un concetto utilizzato in molteplici ambiti disciplinari con declinazioni diverse: la resilienza economica, quella ingegneristica, quella sociale o comunitaria, ma anche quella orientata alla sfera psicologica individuale.

Nell'ambito della resilienza psicologica un punto focale riguarda la capacità degli individui di "rimbalzare" o recuperare dopo esperienze avverse. Rutter (1987), uno dei pionieri nella ricerca sulla resilienza, ha sottolineato l'importanza delle variabili protettive che possono giocare un ruolo chiave nel promuovere la resilienza, come l'autostima, l'attitudine al problem solving e le reti di supporto sociale. In psicologia, la resilienza è intesa come la capacità di un individuo di affrontare e superare avversità, trauma o stress, mantenendo o recuperando un equilibrio psicologico (Werner, 1995). Nel corso del tempo, è emerso un consenso crescente riguardo al fatto che la resilienza non fosse un tratto statico, ma piuttosto un processo dinamico, influenzato da una combinazione di fattori individuali, relazionali e ambientali (Masten, 2001). La resilienza non è meramente l'assenza di disfunzioni o sintomi psicopatologici, ma piuttosto una manifestazione di adattamento positivo nonostante le sfide significative (Luthar, 2015). Questa prospettiva mette in luce l'importanza di considerare la resilienza non solo come la capacità di evitare esiti negativi, ma anche come la capacità di perseguire e mantenere il benessere psicologico in mezzo alle avversità. Un'ulteriore chiave di lettura della resilienza proviene dalla psicologia dello sviluppo. Cicchetti (2010) ha osservato come gli individui sviluppino meccanismi di coping e strategie adattive, a partire dall'infanzia, che possono essere modulati da una serie di fattori, primo tra tutti le reti sociali di riferimento: l'ambiente familiare, le esperienze scolastiche e le interazioni con i pari. Dal punto di vista neuroscientifico, la resilienza è stata esplorata in termini di neuroplasticità, ovvero la capacità del cervello di riorganizzarsi in risposta a nuove esperienze o traumi. Studi in questo campo suggeriscono che la resilienza può essere legata a specifiche strutture e funzioni cerebrali e che le esperienze positive possono avere un impatto protettivo sul cervello, aiutandolo a resistere o recuperare da danni o traumi (Davidson e McEwen, 2012). Nella psicologia sociale, la resilienza è vista come un fenomeno collettivo, intendendola come la capacità di una comunità o di una rete sociale di resistere e recuperare da eventi avversi, come disastri naturali o crisi economiche. Questo tipo di resilienza, spesso denominata "resilienza

comunitaria", sottolinea l'importanza della coesione sociale, della collaborazione e del sostegno reciproco nel promuovere la resistenza di fronte alle avversità (Norris et al., 2008).

Nell'ambito ingegneristico, la resilienza assume connotazioni che variano a seconda del campo di applicazione, ma tutte tendono a gravitare attorno al concetto di resistenza e capacità di recupero di un sistema o struttura di fronte a sollecitazioni esterne o situazioni imprevedute. Nell'ingegneria delle strutture, la resilienza rappresenta la capacità di un edificio o di una qualsiasi costruzione di resistere a carichi esterni, come forti venti o terremoti, e di ritornare alla sua forma originale una volta cessato il carico. Questa definizione sottolinea la necessità di progettare strutture che non solo siano in grado di sopportare tali sollecitazioni, ma anche di recuperare rapidamente per minimizzare i danni e garantire la sicurezza. Nel campo dell'ingegneria dei sistemi, la resilienza è intesa come la capacità di un sistema, che può essere un sistema di produzione, un sistema informatico o un sistema di trasporto, di adattarsi e recuperare da malfunzionamenti, guasti o minacce esterne, garantendo un livello accettabile di funzionamento (Hosseini et al., 2016). Qui, la resilienza non riguarda solo la resistenza alle sollecitazioni, ma anche la velocità con cui il sistema può tornare alla normalità, ovvero allo stato pre-shock. Nell'ingegneria elettrica, la resilienza viene spesso associata alla stabilità e alla capacità delle reti elettriche di rispondere a perturbazioni, come guasti o variazioni di carico, mantenendo la fornitura di energia e prevenendo blackout (Ouyang, 2014). La definizione, in questo caso, mette in risalto la capacità della rete di mantenere un equilibrio dinamico in risposta a cambiamenti impreveduti.

Uno dei primi riferimenti alla resilienza in economia risale agli studi sulle crisi finanziarie, dove la resilienza veniva intesa come la capacità di un'economia di resistere agli shock finanziari e di riprendersi rapidamente da essi (Krugman, 1999). In questo contesto, la resilienza era strettamente legata alla stabilità macroeconomica e alla presenza di meccanismi di regolamentazione e di intervento istituzionale. Con l'accelerazione della globalizzazione e l'emergere di sfide economiche più complesse, la definizione di resilienza economica ha cominciato ad espandersi. Ad esempio, è stato dato risalto alla capacità delle economie locali e regionali di adattarsi agli shocks esterni, come i cambiamenti tecnologici o la perdita di industrie chiave (Briguglio et al., 2014). In quest'ottica, la resilienza non era solo una questione di ripresa, ma anche di adattamento e trasformazione in risposta a nuovi scenari economici, come nell'accezione di resilienza ecologica. Martin (2012) ha evidenziato come la resilienza economica non dovrebbe essere considerata solo come una caratteristica statica, ma piuttosto come un processo dinamico. Questo implica che la resilienza economica sia legata alla capacità di un sistema economico di anticipare, prepararsi, rispondere e adattarsi ai cambiamenti, piuttosto che semplicemente resistere o recuperare da essi. Martin e Sunley (2015) Modica e Reggiani

(2015) sottolineano, a tal proposito, la differenza tra le due principali nozioni di resilienza utilizzate in economia: la resilienza nell'accezione ingegneristica e la resilienza nell'accezione ecologica. La nozione di resilienza ingegneristica è in linea con l'ipotesi di sistemi economici che tendono verso un punto di equilibrio. Il sistema ha la capacità (intesa come rapidità) di ritornare (o rimbalzare) all'equilibrio preesistente o alla traiettoria pre-shock. La resilienza ingegneristica si basa pertanto su una visione deterministica (Solowiana) dell'economia: i sistemi economici tendono a seguire un certo percorso di crescita di lungo periodo e, quindi, gli shock possono influenzare solo le dinamiche di breve periodo e avere un impatto solo sul periodo di ripresa successivo all'evento avverso. La resilienza ecologica o evolutiva differisce dalla resilienza ingegneristica perché introduce due ulteriori elementi: in primo luogo, la possibilità che un sistema possa evolversi e, in secondo luogo, il ruolo dell'entità dello shock. Dopo il verificarsi di uno shock, quando viene superata una certa soglia, un sistema può muoversi verso un nuovo equilibrio grazie alla capacità di adattamento. Per l'enfasi posta sulla capacità di un'economia di passare attraverso fasi di adattamento e trasformazione in risposta agli shock, questa definizione è più vicina alla tradizione economica evolutiva (Schumpeteriana). Nell'ambito di questo secondo filone di letteratura, la resilienza emerge come un processo multiforme e che può essere caratterizzato come composto da passaggi sequenziali e ricorsivi. Martin e Sunley (2015) ne individuano quattro nello studio dei sistemi urbani e regionali: la vulnerabilità, ovvero la propensione al danno, caratteristica preesistente allo shock, ad esso legata attraverso il concetto di rischio, la resistenza interpretabile come l'analisi del grado di sensibilità di reazione alla perturbazione, la *reorientation* intesa come l'adattabilità del territorio in risposta allo shock e infine la *recovery* intesa come velocità e grado di recupero. Questa distinzione ha aiutato a chiarire la diversità e la complessità delle risposte economiche ai cambiamenti e alle sfide. Infine, la resilienza economica è stata anche collegata alla diversificazione economica, alla flessibilità del mercato del lavoro, e alla capacità istituzionale di promuovere l'innovazione e l'adattamento (Pendall et al., 2007). Tali fattori sono essenziali per costruire una capacità di resilienza sostenibile e duratura in un mondo economico in rapido cambiamento.

Di particolare interesse è il campo dell'ingegneria della resilienza, che si concentra sulla progettazione di sistemi e infrastrutture che siano intrinsecamente resilienti, integrando principi provenienti da vari rami dell'ingegneria con approcci basati sulla teoria dei sistemi (Park et al., 2013). Questo approccio multidisciplinare affronta la resilienza non solo come una caratteristica intrinseca, ma come un obiettivo di progettazione del sistema stesso. Un aspetto chiave dell'ingegneria della resilienza è l'approccio olistico. Ciò significa che, oltre a concentrarsi su singoli componenti o aspetti di un sistema, viene preso in considerazione nella sua complessità (Hollnagel et al., 2006). Ad esempio,

progettando una rete di trasporto, non si considera solo la robustezza delle singole infrastrutture, ma anche come interagiscono tra loro e con l'ambiente circostante. La ricerca in questo campo ha anche evidenziato l'importanza di considerare gli aspetti sociotecnici. I sistemi ingegneristici sono spesso integrati in contesti sociali, economici e ambientali più ampi. Ignorare questi legami può portare a soluzioni non ottimali o addirittura controproducenti. L'integrazione di principi sociotecnici nella progettazione resiliente è quindi essenziale per garantire che i sistemi siano non solo robusti, ma anche sostenibili e socialmente accettabili (Righi et al., 2018).

1.2 RIDONDANZA, EFFICIENZA E SOSTENIBILITÀ

Tra i concetti chiave nell'ingegneria della resilienza c'è quello di ridondanza, particolarmente rilevante quando si tratta di garantire che i sistemi rimangano funzionali di fronte a malfunzionamenti o perturbazioni. In termini ingegneristici, la ridondanza si riferisce alla presenza di componenti aggiuntivi, sistemi o processi che possono prendere il posto di quelli che falliscono, garantendo la continuità delle operazioni (Aven, 2011). La vicinanza concettuale tra resilienza e ridondanza emerge dalla definizione di quest'ultima che ne dà Streeter (1992) definendo la ridondanza come la capacità di auto-organizzarsi, aggiustando le proprie strutture interne e i propri processi a seconda delle circostanze esterne che si trova ad affrontare. In molti sistemi, come le reti elettriche, le infrastrutture di trasporto o i sistemi di comunicazione, la ridondanza è incorporata per assicurare che, in caso di guasto o malfunzionamento di una parte, ci sia una 'riserva' pronta a sostituirla. Questa 'riserva' può consistere in linee elettriche supplementari, percorsi di trasporto alternativi o canali di comunicazione di backup (Ouyang, 2014). La ridondanza, nel contesto dell'ingegneria della resilienza, non è solo una questione di avere componenti extra. È essenziale che la ridondanza sia progettata in maniera tale per cui i componenti ridondanti siano protetti dalle stesse minacce che potrebbero compromettere i componenti principali. Ad esempio, avere due generatori di energia in uno stesso edificio potrebbe sembrare una soluzione ridondante, ma se entrambi i generatori fossero vulnerabili allo stesso tipo di inondazione, la ridondanza potrebbe non essere efficace (Francis e Bekera, 2014). Affinché un sistema si dimostri adeguatamente ridondante deve essere in grado di mantenere le proprie funzionalità anche in caso di perdita di alcuni componenti. La ridondanza è citata da Herbert Simon nel suo lavoro seminale *"The Architecture of Complexity"* (1962) nel quale la proprietà della ridondanza assume una funzione determinante ai fini descrittivi di un sistema. Secondo Simon la gran parte dei sistemi gerarchici, ovvero decomponibili in subsistemi composti, possiede un alto grado di

ridondanza, espressa come ripetitività di schemi comuni nell'architettura. Tale proprietà di ridondanza per Simon è elemento centrale nella possibilità di semplificare la descrizione gerarchica del sistema stesso. Il concetto di ridondanza nel corso del lavoro sarà relazionato all'architettura dei sistemi complessi nell'accezione ingegneristica, la quale inevitabilmente mantiene anche la proprietà semplificatrice già identificata da Simon. Un elemento di una rete o sistema sarà ritenuto ridondante se risulterà essere di back-up ad un altro nell'esercitare una medesima funzione. Più in generale un sistema sarà tanto più ridondante quanti più elementi ridondanti avrà al suo interno (Downer, 2009). In quest'ottica la misura della ridondanza è volta a fornire ai policy makers una comprensione dello stato di resilienza del sistema. Un aspetto cruciale è la definizione di un equilibrio tra ridondanza ed efficienza all'interno di un sistema complesso. Aggiungere ridondanza può aumentare la robustezza di un sistema, ma può anche determinare un uso inefficiente delle risorse, un incremento dei costi e nuove vulnerabilità. L'ingegneria della resilienza cerca quindi di trovare un bilanciamento ottimale tra ridondanza ed efficienza, considerando il contesto specifico e le minacce potenziali (Downer, 2009; Taleb, 2012). Congegnare ed organizzare un sistema dotato un certo grado di ridondanza, data la sua struttura gerarchica, può non essere sempre operazione semplice e priva di controindicazioni.

Così come per la resilienza anche il concetto di efficienza trova tante definizioni quanti sono gli ambiti specifici di applicazione. Al fine della comprensione del lavoro qui proposto è bene ricordarne alcune di esse. Secondo Palmer e Torgerson (1999) si possono identificare tre diversi aspetti dell'efficienza. L'efficienza tecnica è riferita alla relazione fisica tra le risorse impiegate e i risultati ottenuti in termini di output. Una posizione tecnicamente efficiente è ottenuta quando il massimo possibile incremento nell'output è ottenuto da una combinazione di input. Al contrario, sarà tecnicamente inefficiente la posizione in cui lo stesso o maggiore risultato potrebbe essere raggiunto con un minor input. Il concetto di efficienza produttiva si riferisce alla minimizzazione del costo per un dato risultato. Sarà produttivamente più efficiente l'opzione che raggiunge uno stesso risultato di output con il minor costo sostenuto. Infine, il concetto di efficienza allocativa tiene conto non solo dell'efficienza produttiva con cui le risorse vengono utilizzate per produrre risultati ma anche dell'efficienza con cui tali risultati vengono distribuiti all'interno della comunità. Tale prospettiva sociale affonda le sue radici nell'economia del benessere e ha implicazioni per la definizione dei costi opportunità. In questo senso l'efficienza, in senso Pareto, è raggiunta quando è impossibile incrementare l'utilità di un individuo senza diminuire quella di un altro (Makdissi, 2006). L'efficienza allocativa si ottiene quando le risorse vengono distribuite in modo da massimizzare il benessere della comunità. Rispetto al concetto di benessere, quale finalità del decisore politico, questo può assumere diverse declinazioni a seconda delle dimensioni considerate. L'obiettivo di un'adeguata efficienza, quale che sia, non deve

essere abbandonato. Crescita economica, miglioramento delle condizioni di vita e promozione dell'innovazione sono cardini centrali per lo sviluppo complessivo del sistema, ciò che va inglobato nelle considerazioni complessive sullo stato di salute delle comunità che viviamo è un riferimento alla capacità attuale e soprattutto futura di far fronte ai cambiamenti cui siamo messi alla prova con sempre maggior frequenza. In una tale prospettiva, l'obiettivo diventa modificare le architetture strutturali dei nostri sistemi riequilibrando il rapporto tra ridondanza ed efficienza in modo da poter mantenere i sistemi produttivi in circostanze di normalità e al tempo stesso garantirne la capacità di adattamento e superamento delle perturbazioni che si trovano ad affrontare (Chatterjee e Layton, 2020).

Gli shock possono essere diversi per tipologia – naturali, sanitari, sociopolitici ed economici – durata e intensità. Possono presentarsi come eventi improvvisi, eventi naturali estremi, o come eventi graduali, si pensi ai cambiamenti tecnologici, alle trasformazioni politiche più o meno repentine e al cambiamento climatico. Ne consegue che anche rispetto a queste caratteristiche, le tecniche di analisi e le nozioni riferite alla resilienza si modifichino adattandosi al contesto di ricerca proposto di volta in volta. L'esistenza di molteplici shock di diversa natura rende complesso poter generalizzare su come un evento possa influenzare la resilienza di un sistema, poiché ogni elemento che compone il sistema in analisi può adattarsi bene a un tipo di shock, favorendone la resilienza e al contrario favorire la vulnerabilità di fronte ad un altro tipo di perturbazione. A seconda dello shock cui si fa riferimento occorre necessariamente cambiare le determinanti necessarie alla misurazione della capacità di resilienza del sistema indagato. È stato già sottolineato come, nel corso del tempo, la parola "resilienza" sia stata assorbita e adattata nelle molteplici discipline, conducendo a un insieme di definizioni che riflettono le specifiche necessità e le particolarità di ciascun ambito di studio. Tuttavia, ciò che era originariamente inteso come un termine per distinguere una particolare caratteristica dei sistemi ecologici dalla mera stabilità, si è progressivamente evoluto in un ampio spettro semantico, talvolta elusivo, inglobando concetti affini come quello di "sostenibilità" (Folke et al., 2002).

La sostenibilità incorpora finalità quali il benessere duraturo, con particolare riferimento all'efficienza allocativa di lungo periodo in ottica multidimensionale, nell'intersezione tra dimensioni economiche sociali e ambientali (Bell e Morse, 2010; Camagni, 2017). Sono evidenti i punti di contatto tra le proprietà dei sistemi economici odierni associate al concetto di resilienza e quelle associate al concetto di sostenibilità, riconoscendo in entrambi i casi la necessità di un'ottica di lungo periodo che attivi anche misure precauzionali rispetto all'allocazione delle risorse nel momento in cui vengono impiegate (Graziano e Rizzi, 2020). Lo sviluppo sostenibile, come definito dalla

Commissione Brundtland delle Nazioni Unite nel 1987, è lo sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza danneggiare i sistemi naturali da cui dipende la società o la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni (Brundtland et al, 1987). Resilienza e sostenibilità possono essere viste come qualità interconnesse di sistemi complessi con obiettivi comuni (Elmqvist et al. 2019; Marchese et al., 2018). Per promuovere lo sviluppo sostenibile, le funzionalità desiderabili del sistema devono essere resilienti alle interruzioni, meno vulnerabili nel presente e in ottica futura (Chatterjee e Layton, 2020). La visione dinamica della resilienza e quella di lungo periodo della sostenibilità obbligano a rivedere la conformazione dei sistemi complessi cui disponiamo oggi. Il mutamento di ottica nella valutazione del benessere introdotta dai concetti di resilienza e sostenibilità si ripercuote sulla visione della struttura assunta dal sistema, per forza di cose, sviluppata con un “*systemic interest*” (Cardinale, 2022) orientato alla crescita dell’efficienza di breve periodo. L’economia politica del secondo dopoguerra ha organizzato il sistema nell’ottica della minimizzazione di costi operativi e di capitale e dell’aumento dell’efficienza. Il fenomeno si è rispecchiato chiaramente nelle misure economiche che sono state adottate per misurare la performance delle economie, prima tra tutte il PIL.

Come mostrato dai numerosi campi di applicazione, il modello ecosistemico che lega insieme vulnerabilità, ridondanza, efficienza e resilienza trova applicazione in qualsiasi tipo di sistema complesso. Descriverne le interrelazioni e le dinamiche è lo scopo di questo capitolo. Tali proprietà sono proprie di ogni sistema complesso, si tratti di una rete informatica, una stradale, un mercato di imprese, un’economia più in generale o ancora il nostro corpo e il nostro cervello stessi. Generalizzando tali caratteristiche connotano ogni sistema che abbia in sé parti tra esse collegate da un legame relazionale. La genesi della complessità e dello studio dei sistemi complessi si deve al lavoro “*Science and complexity*” di Weaver del 1948. Fu poi Simon (1962) a caratterizzare un sistema complesso secondo le sue forme elementari. “*By a complex system I mean one made up of a large number of parts that interact in a nonsimple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts*” (Simon, 1962, pp. 468). I sistemi complessi organizzati si connotano principalmente per l’averne una struttura gerarchica. Un sistema gerarchico avrà la caratteristica di essere composto da sottoinsiemi, a loro volta decomponibili in altri sottoinsiemi. La descrizione di un sistema avverrà quindi attraverso l’analisi delle interazioni esistenti tra i nodi all’interno di un sottoinsieme e tra diversi sottoinsiemi. Da ciò e dalla magnitudo delle relazioni inter e intra-sottosistemica deriva l’altra principale caratteristica che Simon attribuisce ai sistemi complessi: la quasi-decomponibilità o “*near-decomposability*”. I legami tra i sottosistemi e quelli all’interno di uno stesso sottosistema avvengono a frequenze e magnitudo diverse, andando inevitabilmente ad impattare sulla dinamica temporale e

sull'architettura generale del sistema globale. In accordo con la teoria della “*near-decomposability*” le interazioni tra i subsistemi saranno quindi più deboli e meno frequenti di quelle tra le componenti interne ad uno stesso subsistema. Questa diversa natura nelle connessioni ha particolari ripercussioni anche nella dinamica evolutiva della rete. In un sistema quasi decomponibile, il comportamento di breve periodo di ciascuno dei sottosistemi di un sistema sarà verosimilmente indipendente dal comportamento di breve periodo degli altri componenti, solamente nel lungo periodo, il comportamento dei subsistemi vedrà emergere la relazione con le restanti parti, descrivendo un mutamento del comportamento aggregato del sistema. Quanto descritto, data la gerarchia di un sistema e le relazioni di connessioni tra le diverse scale subsistemiche in esso contenute, comporterà il meccanismo di trasmissione delle perturbazioni e la capacità adattiva di lungo periodo. Le relazioni di connettività e nel complesso la loro architettura saranno espressione della capacità di resilienza di un sistema, della sua vulnerabilità ai diversi shock nonché della sua efficienza. Ciò che determina la connessione degli agenti di un sistema complesso è l'esistenza o meno tra essi di legami. La propagazione degli effetti di shock avviene attraverso questi canali di connettività siano essi topologici, l'interdipendenza di elementi vicini tra loro geograficamente nella rete, o funzionali, quali le connessioni esistenti anche tra elementi distanti topologicamente tra loro (Reggiani, 2022). Può quindi verificarsi che un elemento appartenente ad una rete sia dipendente posizionalmente da un altro per il semplice fatto di essergli vicino nello spazio, anche in assenza di una connessione. Allo stesso modo un elemento connesso funzionalmente ad un altro potrebbe reagire ad una perturbazione pur essendo topologicamente distanti l'uno dall'altro (Scazzieri, 2021). La connettività è in definitiva il canale di trasmissione delle perturbazioni di un sistema, determinandone quindi anche la vulnerabilità. Allo stesso tempo è attraverso la formazione e modificazione delle connessioni che si può intervenire per mitigarla, sviluppando anche la resilienza della rete principalmente attraverso la crescita della ridondanza del sistema. L'insieme delle diverse intensità e numerosità delle connessioni dà vita all'architettura complessiva di connettività del sistema, anch'essa con un ruolo rilevante per la qualificazione sia della vulnerabilità che per la ridondanza e l'efficienza espresse dalla rete nel suo complesso. Il numero di connessioni e la loro organizzazione tra i nodi di un network aiuta a identificare le diverse architetture della connettività possibili. Data l'architettura di connettività di un sistema sarà possibile comprenderne la vulnerabilità, lo stato di efficienza e quello di ridondanza globale. È utile a questo punto distinguere tra due opposte conformazioni. La presenza di nodi con un simile numero di connessioni identifica un random network. I nodi di questa tipologia di network sono descrivibili con una distribuzione Poissoniana tale per cui saranno rari i casi di pochi nodi con un numero molto elevato o molto ridotto di connessioni. All'estremo opposto si trovano le conformazioni di network non-random. Queste sono descrivibili con una distribuzione *power-law* in

cui sono numerosi i nodi con pochi collegamenti mentre un numero ridotto di nodi avrà un elevato numero di connessioni. Le reti che fanno riferimento a questa architettura delle connessioni sono dette scale-free (Barabasi, 2007). I nodi ad elevato numero di legami in un network scale-free sono definiti hubs, si tratta di veri e propri attrattori, catalizzatori, del network, tali da influenzarne in maniera determinante il comportamento (Reggiani, 2022). Proprio la presenza o meno di hubs nella rete determina le specifiche vulnerabilità di un sistema. Barabasi (2017) ha mostrato come i sistemi con hubs al proprio interno non siano vulnerabili al fallimento randomico di un certo numero di nodi, evento che rende invece altamente vulnerabile una rete a distribuzione omogenea di connettività, quanto piuttosto lo siano ad attacchi specifici diretti ai nodi aggregatori, data la loro struttura disomogenea. Come sottolineato da Reggiani (2022) emergono a riguardo tematiche di politica economica circa il miglior design da dare ad un sistema complesso. In presenza di hubs e di vulnerabilità specifica in essi occorrerà implementare misure atte ad incrementarne la resilienza, prima tra tutte la creazione di strutture che siano ridondanti agli hub. Al fine di comprendere al meglio le interrelazioni tra l'architettura della connettività di un sistema, la sua vulnerabilità specifica, la capacità di resilienza espressa in termini di ridondanza, e il grado di efficienza di un sistema di seguito si propone un framework teorico in grado di identificare le interdipendenze tra queste proprietà.

1.3 EMPIRICAL EVIDENCES

La teoria dei sistemi complessi, così come quella delle reti, offrono un framework estremamente utile per comprendere il funzionamento delle architetture organizzative in vari ambiti, dalla tecnologia alla biologia, dall'economia all'ecologia. Numerosi sono gli esempi di come le strutture organizzative delle reti che viviamo tutti i giorni impattino sulla trasmissione degli shock, evidenziando la particolare vulnerabilità associata alla struttura gerarchica della rete, in particolare quando esistono gli hubs, ovvero i nodi centrali altamente connessi.

Il settore dei trasporti, ed in particolare quello aereo, ben si adatta a descrivere questa dinamica. Gli aeroporti non offrono tutti lo stesso numero di destinazioni. Si tratta di un evidente esempio di scale-free network dove alcuni, pochi, nodi hanno un elevatissimo numero di connessioni. Questi nodi fungono da hub ed hanno un ruolo fondamentale nell'efficienza e nella fluidità del traffico aereo globale. La loro capacità di gestire efficacemente un grande volume di traffico aereo non solo influenza la puntualità dei voli ma anche l'efficienza logistica delle compagnie aeree e l'esperienza di viaggio dei passeggeri. La congestione degli hub aeroportuali può avere effetti a catena su scala globale. Un ritardo in un aeroporto hub può causare ritardi nei voli in arrivo e in partenza, influenzando non solo le rotte domestiche ma anche quelle internazionali. Questo fenomeno emerge in occasione di eventi atmosferici estremi. Oltre agli eventi atmosferici, altri fattori possono causare interruzioni negli hub aeroportuali. Scioperi del personale, problemi tecnici, o emergenze sanitarie, come visto durante la pandemia di COVID-19, possono ridurre drasticamente la capacità operativa di questi aeroporti, provocando ritardi e cancellazioni su vasta scala. La resilienza implementata attraverso l'incremento di ridondanza è un concetto cruciale nel settore del trasporto aereo, sia per le infrastrutture aeroportuali sia per le compagnie aeree. È necessario avere piani di emergenza e rotte alternative di back-up. Alcune compagnie aeree hanno sviluppato strategie per diversificare i loro hub o utilizzare aeroporti secondari per ridurre la dipendenza da un singolo hub. Tale approccio migliora la resilienza del sistema nel suo complesso offrendo vantaggi in termini di riduzione della congestione, miglioramento dell'efficienza complessiva e distribuzione più uniforme del rischio lungo tutta la rete.

Il ruolo degli hub si ritrova anche nei *social network*, sia reali che virtuali, ed è diventato un argomento di crescente interesse, in particolare alla luce dei recenti fenomeni sociopolitici legati alla diffusione di informazioni e disinformazione. In tale contesto, gli hub sono cruciali nella modellazione del paesaggio informativo. Con la loro ampia rete di connessioni le reti sociali permettono la rapida

diffusione delle informazioni ad un vasto pubblico. Questo può avere effetti positivi, come la rapida diffusione di informazioni vitali o educative, ma allo stesso modo può avere risvolti negativi come caso della diffusione di informazioni fuorvianti o false. Gli hub nei *social network* sono particolarmente vulnerabili alla disinformazione essendo nodi centrali per la propagazione dell'informazione. Possono essere intenzionalmente presi di mira da campagne di disinformazione al fine di sfruttarne influenza. È stato evidenziato il ruolo dei *social network* nella polarizzazione e nella diffusione di *fake news*. La disinformazione può alimentare la polarizzazione, creando camere di risonanza in cui le persone vengono esposte solo a informazioni che rafforzano le loro credenze preesistenti. Nel contrasto della diffusione della disinformazione, è essenziale promuovere nella rete la pluralità di opinioni. Reti con una maggiore diversità possono ridurre il rischio di gruppi di opinione univoci e autoreferenziali, mitigando gli effetti della polarizzazione. Per combattere la diffusione delle *fake-news*, la presenza di meccanismi di fact-checking efficaci è fondamentale. Questi possono includere sia processi automatizzati sia interventi umani per verificare l'accuratezza delle informazioni prima che queste vengano diffuse su larga scala. Il fact-checking operato sistematicamente nella verifica delle informazioni poggia sull'idea di ridondanza, all'interno del quale diversi organismi e agenti della rete verificano molteplici volte indipendentemente la veridicità di informazioni già in circolo nella rete.

In tutt'altro ambito, un altro esempio di rete complessa è rappresentato dal cervello umano, costituito da miliardi di neuroni interconnessi, in grado di formare una delle strutture più sofisticate e complesse conosciute. Ogni neurone, agendo come un nodo, comunica con gli altri attraverso le sinapsi, tramite le quali si trasmettono i segnali. Ogni neurone possiede dendriti e un assone. I dendriti ricevono segnali da altri neuroni, mentre l'assone invia segnali ad altri neuroni. Questi segnali possono essere chimici, veicolati attraverso neurotrasmettitori, o elettrici. Una delle caratteristiche più sorprendenti del cervello è la sua capacità di adattarsi e cambiare in risposta alle esperienze. Tale fenomeno prende il nome di plasticità sinaptica. Le esperienze fanno in modo che le connessioni sinaptiche si rafforzino o indeboliscano, andando ad impattare sulle capacità mnemoniche e di apprendimento del soggetto. Due processi chiave in questo contesto sono il Potenziamento a Lungo Termine e la Depressione a Lungo Termine. Il primo avviene in presenza di un rafforzamento sinaptico a seguito di una stimolazione ripetuta, mentre il secondo è il processo inverso, dove la connessione sinaptica si indebolisce. Nel cervello in via di sviluppo, si assiste alla formazione di un vasto numero di connessioni sinaptiche. Questo processo di cablaggio iniziale è influenzato sia dalla genetica che dall'ambiente esterno. Con il passare del tempo, molte di queste connessioni iniziali vengono potate, un processo che elimina le connessioni inutilizzate e rende la rete più efficiente. Lo sviluppo porta

alla formazione di una struttura sinaptica non uniforme: alcuni neuroni formano più connessioni rispetto ad altri. Questi neuroni 'hub' sono essenziali per la trasmissione rapida ed efficiente delle informazioni attraverso la rete. Diverse aree del cervello sono specializzate per svolgere diverse funzioni. Ad esempio, le aree visive si occupano del trattamento delle informazioni visive, mentre le aree del linguaggio gestiscono la comprensione e la produzione del linguaggio. Queste aree sono interconnesse in maniera complessa, permettendo una elaborazione integrata dell'informazione. L'attivazione di specifiche aree e il modo in cui queste interagiscono varia a seconda del tipo di attività cognitiva svolta. Il cervello è estremamente reattivo agli stimoli siano essi esterni o interni. L'esposizione a nuovi stimoli e l'apprendimento di nuove abilità porta a modifiche nella rete neuronale, sia attraverso la formazione di nuove connessioni sia attraverso il rafforzamento o indebolimento di quelle esistenti. La plasticità cerebrale permette una flessibilità fondamentale per lo sviluppo dell'apprendimento. La plasticità neuronale è una delle espressioni della ridondanza e capacità di resilienza del cervello umano. La resilienza del cervello espressa nei suoi sistemi di ridondanza è incorporata in diverse strutture e funzioni, permettendo una notevole capacità di adattamento e recupero in presenza di lesioni o malattie. Microscopicamente, la ridondanza si manifesta attraverso la sinapticità. Nell'esteso network di connessioni neuronali, molteplici strade sinaptiche conducono allo stesso risultato funzionale. In caso di interruzione di un percorso ne esistono altri in grado di sostituirlo. Tale concetto è rilevante quando si considera la plasticità neuronale – la straordinaria capacità del cervello di riorganizzarsi. I neuroni possono formare nuove connessioni, rafforzare quelle esistenti, o persino reinventare le proprie funzioni in risposta a cambiamenti o danni. Anatomicamente è possibile notare nel cervello la presenza di strutture bilaterali. Ne sono esempio, le aree che gestiscono funzioni fondamentali come la visione, il linguaggio e il movimento presenti in entrambi gli emisferi. Questo dualismo offre una sorta di sicurezza: se un emisfero subisse danni, l'altro potrebbe essere in grado di compensare, almeno in parte, la perdita di funzionalità. Analogamente, il concetto di ridondanza si estende anche ai circuiti neurali. Per molte funzioni cognitive, il cervello non si affida a un singolo percorso o area. Invece, dispone di circuiti multipli che collaborano per eseguire funzioni singole. Questo approccio distribuito significa che il danno a un'area specifica non necessariamente preclude la capacità del cervello di svolgere quella funzione, poiché altri circuiti possono intervenire in soccorso. Un esempio notevole di questa distribuzione delle funzioni è osservabile nelle operazioni complesse come la memoria e l'apprendimento. Queste non sono confinate in un unico luogo, ma sono piuttosto sparse in varie parti del cervello. La perdita di una regione coinvolta nella memoria non equivale alla perdita totale della capacità di ricordare, grazie a questa dispersione funzionale. Esistono limiti alla ridondanza cerebrale. In condizioni di danni estesi o malattie neurodegenerative che colpiscono vaste

aree, la capacità di compensazione del cervello può essere sopraffatta. Esistono regioni altamente specializzate la cui perdita di funzionalità non può essere compensata da altre aree.

Un altro ambito di applicazione del concetto di resilienza riguarda l'interazione tra l'uomo e l'ambiente in agricoltura. Il mantenimento della biodiversità rappresenta il pilastro fondamentale per la resilienza e la sostenibilità dei sistemi agroecologici. La resilienza in agricoltura, come definita da Folke et al. (2002), si riferisce alla capacità di un sistema agricolo di assorbire perturbazioni mantenendo la sua funzionalità. In questo contesto, la biodiversità svolge un ruolo cruciale, contribuendo a una maggiore capacità di adattamento e riducendo il rischio di fallimenti catastrofici. La resilienza agricola include la capacità di un sistema di evolversi in risposta a cambiamenti ambientali e sociali. La biodiversità offre una gamma di opzioni genetiche e biologiche per sviluppare colture più resistenti e adattabili (Walker et al., 2004). Altieri (1999) sottolinea come la diversità all'interno di un ecosistema agricolo possa aumentare la resistenza delle colture agli stress ambientali, come variazioni climatiche e epidemie di parassiti. Numerose evidenze mostrano che una varietà di specie all'interno di un ecosistema agricolo può limitare significativamente la diffusione di patogeni, creando barriere naturali che riducono l'intensità degli agenti patogeni in un contesto di monocoltura. La diversità nelle pratiche agricole migliora la resilienza delle colture principalmente attraverso il potenziamento delle interazioni ecologiche tra le varie specie, aumentando la resistenza agli stress ambientali e biotici (Altieri e Nicholls, 2018). In particolare, la diversità genetica interna alle stesse specie coltivate contribuisce alla stabilità dei rendimenti agricoli, fornendo un importante buffer contro gli stress ambientali (Di Falco e Perrings, 2003). Oltre alle colture, la biodiversità è essenziale per gli ecosistemi del suolo. La diversità degli organismi nel suolo sostiene processi critici come la decomposizione della materia organica e il ciclo dei nutrienti, fondamentali per la salute e la produttività delle colture (Bardgett e van der Putten, 2014). Migliora la qualità del suolo e i cicli dei nutrienti, riducendo la dipendenza da fertilizzanti chimici (Tilman et al., 2002). Un paesaggio agricolo diversificato, che includa habitat non coltivati, può sostenere una maggiore biodiversità e fornire benefici nel controllo biologico dei parassiti e nella conservazione dell'acqua (Perfecto e Vandermeer, 2010). Un aspetto fondamentale nella resilienza degli ecosistemi è la relazione tra piante e insetti impollinatori. La biodiversità degli impollinatori è cruciale per la produzione agricola, migliorando la quantità e qualità del raccolto e contribuendo alla stabilità dell'ecosistema agricolo (Klein et al., 2007). La biodiversità agricola fornisce servizi ecosistemici essenziali come la regolazione del clima e il controllo dell'erosione del suolo, fondamentali per la sostenibilità a lungo termine dell'agricoltura (Foley et al., 2005). Gli ecosistemi agricoli sono sistemi complessi in cui i diversi agenti biologici interagiscono instaurando relazioni evolutive particolari. Oltre alla resilienza, è centrale la

ridondanza, intesa come la presenza di specie multiple con funzioni simili che fungono da rete di sicurezza. Questo principio è fondamentale per assicurare che la perdita di una specie non comprometta la funzione complessiva dell'ecosistema (Tschardt et al., 2005). La ridondanza è essenziale anche nella pollinazione delle colture e nella biodiversità del suolo, dove diverse specie di decompositori contribuiscono alla fertilità del terreno e alla salute delle colture (Klein et al., 2007). La ridondanza non riguarda solo la duplicazione delle funzioni ecologiche, ma è un meccanismo complesso che aumenta la resilienza e la capacità adattativa degli ecosistemi agricoli. Promuovere una biodiversità funzionale all'interno degli agroecosistemi assicura la migliore implementazione della ridondanza, motore principale della resilienza. In conclusione, la biodiversità è una risorsa inestimabile in agricoltura, fondamentale per la resilienza delle colture, il mantenimento dell'equilibrio ecologico e la sostenibilità dell'intero settore. Gli studi accademici dimostrano chiaramente che un approccio integrato che valorizza la biodiversità è essenziale per garantire la produttività agricola in un mondo in rapida evoluzione e sempre più influenzato dai cambiamenti climatici.

Lo schema teorico che verrà proposto in questo capitolo è volutamente generale e intende fornire uno strumento concettuale utile all'interpretazione degli esempi di reti complesse già presentati oltre che, in ambito economico, delle conseguenze di shock in settori nei quali il processo produttivo sottostante e la connessa supply chain sono geograficamente dispersi su scala globale. La pandemia di COVID-19 ha messo in risalto la fragilità e la complessità delle catene di approvvigionamento globali. Tra le crisi di fornitura più impattanti, la carenza di semiconduttori ha colpito numerosi settori industriali. Questi componenti, cruciali per la maggior parte delle produzioni tecnologiche, sono principalmente prodotti in Asia. La chiusura temporanea degli impianti produttivi durante la pandemia ha causato una crisi di approvvigionamento che ha colpito duramente in particolare il settore tecnologico e quello automobilistico. Questo ha portato a un rallentamento della produzione, con conseguenze economiche significative tale da indurre una profonda riflessione sull'organizzazione delle catene di approvvigionamento. Anche mesi dopo la fine della crisi pandemica e la ripresa degli scambi commerciali, il collo di bottiglia nel reperimento dei materiali persiste. In questo contesto, il settore dei semiconduttori rappresenta un'industria "a monte" di componenti (beni intermedi), fondamentale per numerose produzioni industriali "a valle". Allo stesso modo, diversi settori relativi alla produzione di beni finali di consumo e alla produzione di materie prime hanno risentito di queste interruzioni. La dipendenza da singole regioni o fornitori ha evidenziato la vulnerabilità delle aziende di fronte a shock improvvisi. La scarsità di materie prime, semilavorati, componenti ha prodotto un aumento dei costi di approvvigionamento per le imprese finali, determinando, di conseguenza, un rialzo dei prezzi

dei beni finali e ritardi nella consegna dei prodotti. Tali dinamiche possono considerarsi all'origine dei processi inflattivi iniziati nel corso del 2021. Nel settore farmaceutico, la produzione e distribuzione di farmaci ha subito forti pressioni. La dipendenza da ingredienti attivi prodotti in poche aree geografiche, principalmente in India e Cina, ha sollevato questioni di sicurezza e continuità nell'approvvigionamento di farmaci essenziali. Esempi come questi illustrano le debolezze manifestate dalle catene di approvvigionamento globali in occasione di eventi come quello pandemico. La necessità di diversificare le fonti di approvvigionamento è diventata evidente, secondo principi di diversificazione e ridondanza, per avere reti di fornitura più resilienti. Aziende e governi hanno iniziato a riconsiderare le proprie strategie, cercando un equilibrio tra efficienza e resilienza. Strategie come il *nearshoring*, il *reshoring*, la diversificazione dei fornitori e l'investimento in tecnologie avanzate sono diventate prioritarie nel ridurre il rischio di future interruzioni.

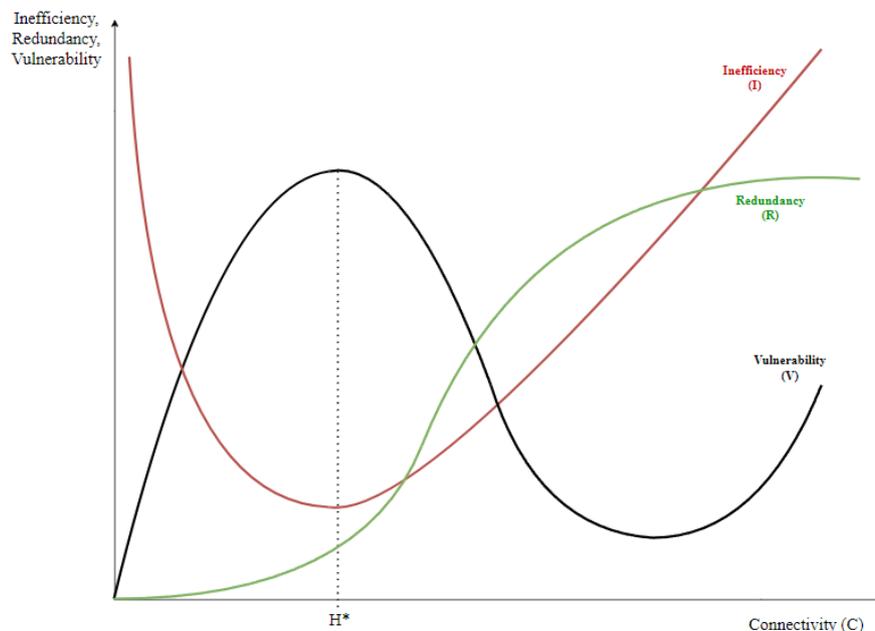
Attraverso le strategie di *nearshoring* le imprese tornano ad avvicinare la produzione in paesi geograficamente più vicini alla loro sede direzionale e ai mercati di sbocco. Aziende europee che avevano delocalizzato la produzione fuori continente hanno riportato la produzione all'interno dello spazio economico europeo, allo scopo di essere più vicini al principale mercato avvantaggiandosi di minori frizioni commerciali all'interno della comunità europea. Tale scelta riduce significativamente i tempi di spedizione e i costi logistici, migliorando l'efficienza complessiva della rete produttiva internazionale. La vicinanza geografica offre una maggiore flessibilità e una più rapida capacità di risposta di fronte a fluttuazioni della domanda, incrementando la resilienza del sistema produttivo. Il *reshoring* consiste nel ritorno delle attività produttive nel paese d'origine dell'azienda. Numerose sono le società statunitensi decise a riportare la produzione di componenti elettronici dal Sud-Est asiatico negli Stati Uniti. Sebbene questa strategia possa comportare costi produttivi più elevati, offre vantaggi significativi in termini di controllo della qualità, protezione della proprietà intellettuale e aumento dell'occupazione locale. Inoltre, fornisce una maggiore protezione contro le interruzioni a lungo raggio e le incertezze politiche, contribuendo così a una catena di approvvigionamento più controllata e resiliente. Queste strategie mostrano come la prossimità geografica ai mercati di vendita possa offrire vantaggi considerevoli. La riduzione dei tempi di consegna, il miglioramento della qualità del prodotto sono alcuni degli aspetti positivi che emergono dal *nearshoring* e dal *reshoring*. Strategie di "rientro a casa" richiedono investimenti significativi alle società dopo averne sostenuti altrettanti negli anni precedenti per l'"*offshoring*". A giustificare una così radicale inversione di rotta strategica è il valore aggiunto in termini di maggiore controllo sulla catena di approvvigionamento e riduzione del rischio, fattori che a seguito dell'esperienza pandemica sono diventati prioritari. Le nuove strategie non sono solo quindi risposte a shock recenti, ma rappresentano un cambiamento strategico

che riflette una nuova comprensione di come le catene di approvvigionamento dovrebbero essere strutturate in un mondo globalizzato, interconnesso anche e soprattutto nei rischi. Di fronte al ripetersi di criticità e priorità associate alle reti e ai sistemi complessi quale che sia il loro ambito, è utile fornire un impianto teorico che relazioni vulnerabilità, ridondanza ed efficienza alla dimensione dell'architettura connettiva del sistema che si analizza. Il framework teorico che verrà proposto nella sezione successiva vuole essere un primo approccio multidimensionale che possa fungere da sistema di monitoraggio e valutazione della resilienza complessiva di una rete.

1.4 IL MODELLO

Lo scopo del lavoro è quello di concettualizzare la relazione esistente tra le grandezze fondamentali di ridondanza, efficienza e vulnerabilità nei sistemi complessi. Ogni architettura di connettività di un sistema complesso può essere sintetizzata in una misura pari ad un indice di connettività (H), al quale, in ogni fase dello sviluppo ed evoluzione del sistema, corrispondono valori specifici per le tre dimensioni di Inefficienza (I), Ridondanza (R) e Vulnerabilità (V) associate. Queste grandezze, già presentate nel loro significato nelle sezioni precedenti del capitolo, considerate contemporaneamente, possono aiutare ad evidenziare il grado di resilienza complessiva di un sistema.

Figura 1.1 Modello di relazione della connettività di un sistema complesso con ridondanza, vulnerabilità ed inefficienza



Con riferimento ad un sistema complesso, possiamo concepire tre curve da associare al grado di connettività della rete stessa: quella di vulnerabilità-connettività, già presentata nel lavoro di Reggiani del 2022, e quelle introdotte, per la prima volta, in questo lavoro che descrivono le relazioni di inefficienza-connettività e di ridondanza-connettività come illustrato in Fig. 1.

La curva vulnerabilità-connettività è stata teorizzata da Reggiani (2022). L'andamento della curva mostra come, in una rete, la connettività oltre un certo livello è tale da determinare l'insorgenza di hubs (punto H^*). In corrispondenza di questo stesso livello è riscontrato il valore massimo associato alla vulnerabilità della rete, considerando gli hub come i nodi più vulnerabili della rete, rispetto a shock specifici. Quindi, il valore massimo della curva di vulnerabilità coincide con il valore di

connettività che porta all'emergere nell'architettura della rete degli hub, ovvero quei nodi considerati determinanti per la creazione di reti con gerarchie al loro interno (scale-free network). In H^* , gli hub costituiti non sono protetti da nodi di back-up ridondanti, determinando quindi la massima esposizione alla vulnerabilità per il sistema. Oltre il valore di H^* (creazione di hub), la connettività può essere uno strumento per migliorare la resilienza implementando la ridondanza e riducendo la vulnerabilità complessiva del sistema. La curva assume complessivamente una forma ad N dove per valori elevati di connettività la vulnerabilità tende addirittura ad aumentare nuovamente, associandosi alla dimensionalità complessiva eccessivamente grande della rete, tale da determinare anche un eccesso di ridondanza (Downer, 2009).

La seconda curva modellata descrive la relazione tra la ridondanza (R) e la misura della connettività (C). La forma a S descrive l'evoluzione della ridondanza man mano che aumenta la connettività del sistema. In assenza di connettività, anche la ridondanza sarà pari a zero, i nodi sono addirittura isolati e la rete stessa, di fatto, non esiste. In corrispondenza del valore critico H^* , relativo all'insorgenza di hubs nel sistema, il valore di ridondanza sarà positivo e diverso da zero, ma comunque insufficiente a mitigare la massima vulnerabilità della neonata rete scale-free. L'andamento S descrive diverse fasi di contributo alla ridondanza del sistema data dalla crescita marginale della connettività a determinati livelli di partenza della stessa. A bassi livelli di connettività, il contributo di un aumento marginale della connettività avrà un impatto sulla ridondanza in misura meno che proporzionale, poiché ogni collegamento aggiuntivo nella rete fornirà alla ridondanza un contributo crescente ma piccolo, limitato. In queste fasi l'architettura di connettività del sistema non è sufficiente a promuovere un certo grado di ridondanza. In effetti, le connessioni di backup esistenti sono ancora troppo poche. All'aumentare della connettività della rete, viene raggiunto il punto di flesso della curva. Nell'intorno del flesso, i contributi marginali in termini di ridondanza prodotta per unità aggiuntiva di connettività del sistema saranno più che proporzionali, registrando un rapido incremento della ridondanza complessiva, indicando una fase di crescita accelerata della ridondanza. In questa fase di crescita della connettività si registra il maggior contributo della ridondanza alla rete anche nella mitigazione delle vulnerabilità. Oltre un certo valore di connettività già elevato, i contributi marginali alla ridondanza per unità aggiuntiva di connettività tenderanno ad appiattirsi, stabilizzandosi su un livello costante e leggermente positivo. L'ennesimo contributo della connettività sarà irrilevante rispetto alla ridondanza generale del sistema, incrementandola di un valore infinitesimale. Trovarsi in queste fasi e aggiungere ridondanza può anche essere negativo dal punto di vista della vulnerabilità, producendo un paradosso della complessità dovuto a un eccesso di ridondanza (Downer, 2009).

La terza curva utile a descrivere lo stato di capacità di resilienza di una rete collega inefficienza e connettività. L'inefficienza è l'opposto dell'efficienza, come descritto in precedenza, e si riferisce al rapporto tra costi e benefici quando le risorse non sono utilizzate nel modo migliore per raggiungere l'obiettivo. In altri termini, il concetto di inefficienza si riferisce a una situazione in cui le risorse disponibili non vengono utilizzate nel miglior modo possibile per ottenere il massimo output, oppure nell'interpretazione allocativa in cui date le risorse, la distribuzione attuata non produce il massimo benessere complessivo. Un sistema avrà un certo grado di inefficienza quando sarebbe possibile ottenere un miglioramento in termini di output del sistema senza utilizzare altri input ma modificando la loro combinazione. Date queste concettualizzazioni, la curva che collega connettività e inefficienza assumerà una forma a U. Per bassi livelli di connettività, una rete registrerà elevati valori di inefficienza, ponendosi in un'area che potrebbe definirsi "non-Smithiana". In questo ambito, i nodi di una rete scarsamente connessa non riuscirebbero a produrre un'adeguata divisione del lavoro, in senso smithiano, all'interno del sistema necessaria per aumentare l'efficienza. Man mano che la connettività cresce, le strutture tra i nodi iniziano a formarsi e ad aumentare, portando il sistema ad abbandonare l'area "non Smithiana". L'inefficienza minima è registrata per il valore H^* corrispondente all'emergere di hub e di una rete con architettura scale free. Qui è possibile immaginare che data la struttura del sistema la massima efficienza si ottiene utilizzando gli input nel modo migliore in una struttura con nodi che centralizzano-aggregano compiti e risorse nel sistema. Oltre H^* , con l'ulteriore aumento della connettività, aumenterà anche la frammentazione del sistema di compiti e risorse tra i nodi della rete. Ciò determinerà un aumento dell'inefficienza prodotta da un'eccessiva frammentazione, portando ad un'architettura di sistema "bizantina" per elevati valori di connettività. Parte della crescente inefficienza deriverà dall'emergere di elementi di ridondanza della rete che sono di riserva e sono "in vita" principalmente per entrare in funzione in condizioni non normali del sistema.

Mettendo in relazione le tre curve per diversi stadi di connettività, possiamo concludere che valori minimi e bassi di connettività non sono in grado di produrre alcuna ridondanza, in assenza della quale non viene mitigata la vulnerabilità del sistema, che anzi raggiunge il suo picco in corrispondenza dell'emergere degli hub e della conformazione secondo architettura scale-free. Allo stesso tempo, nodi troppo isolati non garantiscono alcun beneficio in termini di efficienza, con la crescita delle connessioni, fino all'assunzione della struttura scale-free, nel punto H^* , si arriva a raggiungere la massima efficienza. Aumentare la ridondanza risulterebbe essere utile per mitigare la vulnerabilità nei confronti di diversi tipi di shock, primi tra tutti quelli mirati a colpire specificamente gli hub. In generale, la ridondanza distribuita migliora la resilienza dei sistemi complessi a livello globale

(Randles et al, 2011). D'altro canto, un'eccessiva ridondanza può produrre una complessità ancora maggiore nel sistema. Un numero eccessivo di parti in una rete porta a interazioni più inaspettate che esacerbano la comprensibilità del sistema (Downer, 2009). In questi casi, una ridondanza troppo elevata diventa la prima fonte di inaffidabilità sul comportamento del sistema, fattore che incide sulla vulnerabilità della rete. Implementare la ridondanza in maniera efficiente ed efficace può essere difficile da realizzare. Le modalità di propagazione degli shock non sempre sono chiare e quantificare il grado di indipendenza degli elementi ridondanti non è un compito facile. In questo senso, costruire elementi ridondanti senza avere completezza degli aspetti qualitativi degli elementi nella rete può dimostrarsi inutile nel mitigare la vulnerabilità e aumentare la resilienza e in casi estremi possono essere addirittura controproducenti. Con l'avvento degli hub nella rete, valore H^* , la vulnerabilità raggiunge il suo valore massimo. Gli hub, in quanto aggregatori e centri di sottosistemi della rete, nonché elementi principali nelle gerarchie interne del sistema, concentrano su di essi tutta la vulnerabilità del sistema. Il livello di connettività associato ad H^* non è tale da garantire l'esistenza di parti o nodi di rete di backup e quindi ridondanti rispetto agli hub, impedendo così la mitigazione del rischio dato dalla centralizzazione di funzioni e risorse sugli hub principali. Per valori di connettività di rete maggiori di H^* , sarà possibile per la rete formare strutture di backup agli hub necessarie per aumentare la ridondanza, e la resilienza complessiva del sistema ne trarrà beneficio con una conseguente riduzione della vulnerabilità. L'emergere di nodi e sottoreti doppi nei compiti e il cui sviluppo richiede risorse ed energia necessarie per la nascita e il mantenimento, porterà il sistema lontano dalla massima efficienza. In modo complementare, l'inefficienza ricomincerà a crescere. È in questa regione dei valori della connettività che si manifesta il trade-off tra efficienza e ridondanza. I costi associati alla creazione di architetture di sistema ridondanti andranno inevitabilmente a scapito del raggiungimento della massima efficienza. Infine, per valori di connettività molto elevati, ogni vantaggio in termini di ridondanza al sistema viene annullato, anche con effetti distorsivi. L'esistenza di reti con un elevato numero di nodi e connessioni potrebbe creare effetti di frammentazione che espongono la rete a rischi ai quali altrimenti non sarebbe esposta. Un'eccessiva connettività esporrebbe la rete primariamente a rischi sistemici la cui propagazione, anziché essere mitigata da elementi di ridondanza associati agli aggregatori, sarebbe favorita dal fenomeno della ridondanza.

1.5 CONCLUSIONI ED IMPLICAZIONI DI POLITICA ECONOMICA

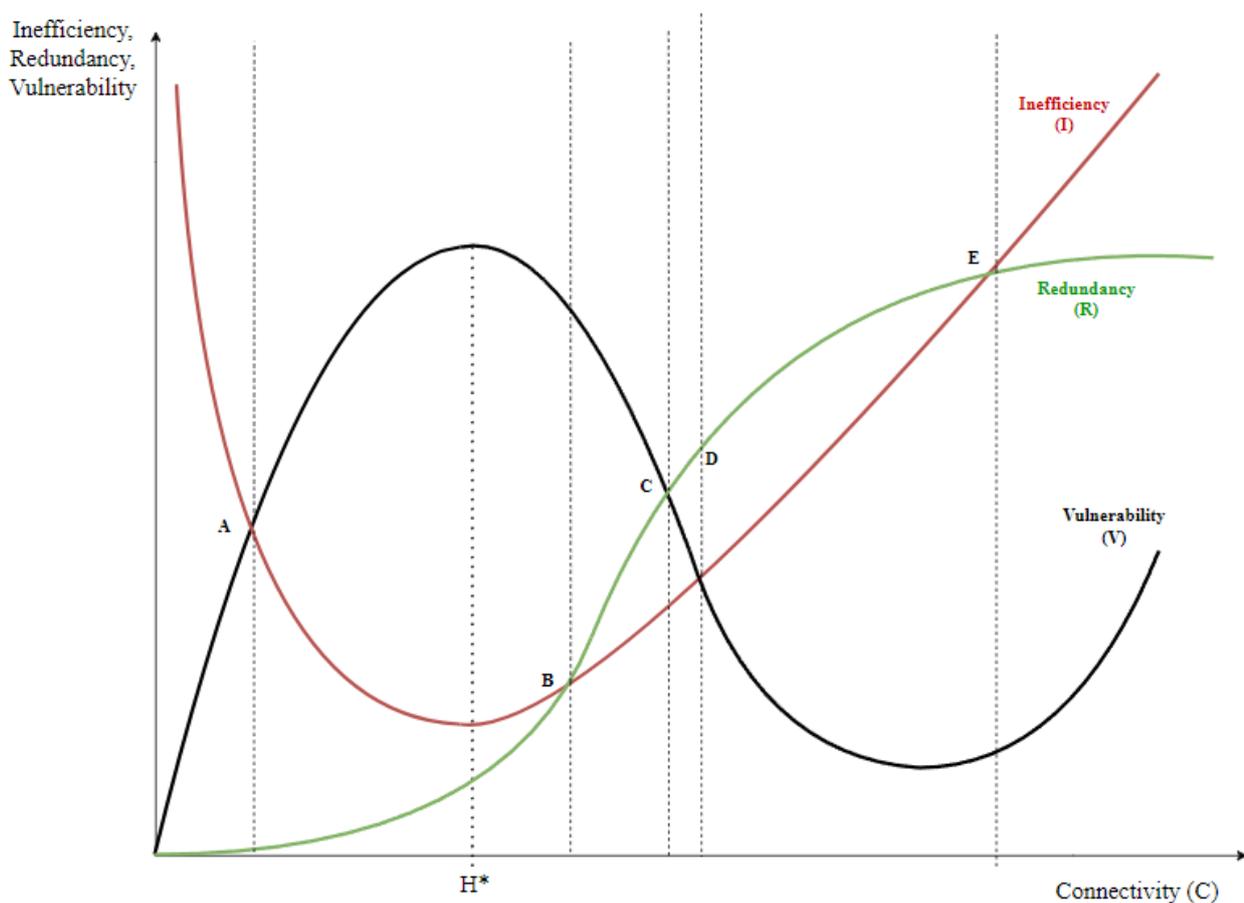
Le interazioni tra ridondanza, efficienza e vulnerabilità rispetto al grado di connettività (C) tra i nodi di un sistema sono al centro del capitolo appena presentato che intende fornire un quadro analitico sulla resilienza di un sistema complesso. Ciascun valore di connettività corrisponde a una specifica combinazione di ridondanza, inefficienza e vulnerabilità. L'ipotesi che esista una combinazione unica capace di minimizzare la vulnerabilità e l'inefficienza massimizzando allo stesso tempo la ridondanza è difficile da ammettere, date le complesse dinamiche interattive tra le grandezze. Nell'ambito della teoria dei sistemi complessi adattivi, in cui la nozione di evento disturbante è sostituita dal concetto di cambiamento graduale e continuo dello stato del sistema, l'impianto appena descritto porterebbe non tanto alla ricerca di uno o più punti di mini-max o di "equilibrio", ma piuttosto alla valutazione generale delle interazioni tra le misure con l'obiettivo di identificare il mix "soddisfacente" di ridondanza, efficienza e vulnerabilità adatto al sistema e alla situazione contingente in cui si trova. Misurare la connettività del sistema, trovare la sua distanza dal punto critico H^* , e la definizione delle conseguenti disposizioni in termini di ridondanza, efficienza e vulnerabilità, potrebbe rivelarsi uno strumento utile per la politica economica nel definire la direzione da prendere nello sviluppo delle politiche.

Per meglio descrivere le implicazioni di politica economica del modello presentato nel lavoro si possono individuare diverse aree nel grafico, ognuna delimitata dai punti in cui due delle tre curve descritte si intersecano. I punti scelti come confini per queste aree sono da intendersi come puri riferimenti di massima e non come delimitazioni nette. Nel modello non si configurano né valori di connettività per cui le tre curve si intersecano tra loro in un unico punto, né equilibri stabili. Si tratta di un framework privo di equilibri e lungo il quale si immagina che il decisore politico, modificando il grado di connettività del sistema che si trova a gestire, possa muoversi in entrambe le direzioni da un qualsiasi punto di partenza, riducendo o aumentando la connettività del sistema.

La prima area identificata nella Figura 1.2 va da valori nulli di connettività al valore in corrispondenza del punto A in cui Inefficienza e Vulnerabilità si intersecano. In questa zona la ridondanza è di fatto assente, l'inefficienza seppur in rapida diminuzione è ancora lontana dal livello minimo mentre la vulnerabilità è in rapido aumento. Il sistema si colloca in quella che già in precedenza è stata definita area "Non-Smithiana" dove prevale l'assenza di divisione del lavoro, a causa della scarsa connettività nel sistema. Ogni decisore politico, quali che siano le priorità in termini di preferenza rispetto all'efficienza, resilienza e vulnerabilità del sistema, tenderà a mantenere il sistema lontano da

quest'area, tendendo ad elevare il grado di connettività. Si ipotizza che i policy maker vorranno evitare che il sistema raggiunga l'estremo opposto del grafico, a destra del punto E. In questa zona, per livelli di connettività molto elevati, l'inefficienza è molto alta, così come la ridondanza, che mostra incrementi marginali minimi e via via decrescenti, fino a diventare nulli. Quest'area può essere definita come di "eccesso di ridondanza", talmente alta da indurre una complessità eccessiva nel sistema, aumentando così la sua vulnerabilità. In questo caso, gli sforzi dei policy maker saranno indirizzati a ridurre la connettività del sistema.

Figura 1.2 Modello presentato in Figura 1.1 con punti e regioni rilevanti



Come già scritto il modello non si configura come risolvibile in uno o più punti di equilibrio stabile, quanto piuttosto nella configurazione di aree grafiche più o meno soddisfacenti per la collocazione dei sistemi rispetto alla risoluzione dei trade-off esistenti tra le proprietà descritte. Primo tra tutti quello tra efficienza e ridondanza. È così che le due aree delimitate tra i punti A e B, la prima, e D ed E, la seconda, sono definibili come aree non soddisfacenti, in cui, indipendentemente dall'ordinamento di preferenze del policy maker rispetto ad obiettivi di efficienza, ridondanza e

vulnerabilità del sistema, non sia desiderabile collocarsi per lunghi periodi. Per la prima delle due aree, quella per i livelli di connettività tra i punti A e B, nonostante la fase di sempre più rapido sviluppo della ridondanza e contemporanea minimizzazione dell'inefficienza si registra il picco massimo per la vulnerabilità. Il punto di massimo per la vulnerabilità si registra per H^* (Reggiani, 2021) in corrispondenza dell'emergenza degli hubs. Questa zona soprattutto per la presenza al proprio interno di H^* che segna, per il sistema, il passaggio da random network ad un'architettura scale free è classificabile come un passaggio auspicabile per ogni sistema nel suo processo di sviluppo, al quale però non fermarsi in un'ottica di evoluzione dinamica soddisfacente. La seconda area non soddisfacente è quella delimitata dai punti D ed E in cui si assiste ad una riduzione della vulnerabilità in presenza di una ridondanza che continua a crescere nel sistema facendo però già registrare un incremento di apporto man mano più piccolo, a fronte di livelli di inefficienza che si allontanano dal valore minimo e crescono velocemente. Quest'area identifica l'anticamera a quella già descritta e definita di eccesso. La caratteristica non desiderabile del sistema in quest'area da parte del decisore è nell'aumento di inefficienza a fronte dell'immissione del sistema di altra ridondanza il cui apporto positivo marginale seppur positivo inizia a ridursi. Quella che quindi si potrebbe definire come area soddisfacente per il decisore politico è la zona delimitata tra i punti B e D. Quali che siano le preferenze del policy maker è auspicabile che il sistema si collochi, nel lungo periodo, in questa zona contraddistinta da mix diversi tra ridondanza, inefficienza e vulnerabilità, i quali però hanno caratteristiche comuni, lontane dalle criticità delle altre aree descritte. La vulnerabilità è sempre decrescente, la ridondanza crescente e con incrementi marginali anche essi crescenti ed elevati, l'inefficienza seppur crescente si colloca non lontana dai valori minimi. Un policy maker con una predilezione per gli obiettivi di efficienza preferirà livelli di connettività del sistema che lo collochino al limite sinistro dell'area, nell'intorno del punto B, quanto più vicino al minimo dell'inefficienza. Al contrario un decisore politico orientato ad un obiettivo di resilienza e riduzione della vulnerabilità collocherà il proprio sistema al limite destro, nell'intorno del punto D, in corrispondenza del valore minimo locale per la vulnerabilità e massimo per la ridondanza.

CAPITOLO II: BENESSERE E VULNERABILITÀ DEI TERRITORI IN ITALIA: UN'ANALISI BASATA SU OPENSTREETMAP

2.1 LA MISURAZIONE DELLA RESILIENZA

Come descritto nel corso del primo capitolo il concetto di resilienza ha permeato numerosi ambiti di ricerca, partendo dalla fisica classica e dall'ecologia si è diffuso alla psicologia, all'economia fino all'ingegneria. Il grande sviluppo interdisciplinare ottenuto dalla resilienza ne ha ampliato le definizioni e le sfumature. Conseguentemente a questo processo di diffusione multidisciplinare attorno al concetto si è sviluppato un elevato grado di *fuzziness*, sfocatura, tale da poterne inficiare la possibilità di valutazione puntuale. La stessa letteratura accademica (Davoudi et al., 2012) ha cominciato a chiedersi se resilienza non rischi di trasformarsi in una buzzword, una parola che esce da uno specifico ambito di applicazione e divenga di uso generale, finendo però per perdere di significato. Riassumendo, in letteratura si possono individuare tre approcci teorici alla resilienza. Il primo vede la resilienza come l'abilità di un sistema di ritornare allo stato di equilibrio precedente alla perturbazione. In letteratura è identificato come *engineering-based concept of resilience*. Il secondo approccio è detto *ecological concept of resilience* si fonda sull'idea di equilibri multipli. Il sistema indagato può cambiare la propria struttura in reazione allo shock e muovere su un nuovo sentiero di equilibrio diverso da quello in cui muoveva prima dell'evento. L'approccio adotta un'ottica rivolta all'equilibrio incorporando la possibilità di movimento su multipli sentieri. Il terzo approccio si interessa alla resilienza nell'ottica dell'approccio evolutivo, *evolutionary approach to resilience*. All'interno di questo *framework* la resilienza è da intendersi come la capacità di un sistema di generare sviluppo di lungo periodo e allo stesso tempo rispondere positivamente alle perturbazioni di breve periodo. Usando le parole di Boschma (2015): "*resilience is considered as an ongoing process rather than a recovery to a (pre-existing or new) stable equilibrium state*" (Citato in Simmie and Martin 2010, p. 31). In quest'ultimo approccio la dipendenza del concetto di resilienza a quello di shock lascia il passo alla creazione di un legame tra l'idea di resilienza e quella di cambiamento strutturale del sistema.

Tornando ai riferimenti originari della resilienza, Holling (1973) sottolinea l'importanza della quantificabilità nel distinguere tra resilienza e stabilità. Per rendere operativa e utile questa distinzione, è essenziale disporre di metodi robusti e affidabili per misurare entrambe le proprietà in contesti reali. Per evitare che il concetto di resilienza diventi troppo vago e privo di significato, ogni

disciplina che intenda occuparsene deve trovare una misurazione coerente e corretta rispetto al proprio specifico ambito di indagine. Di fronte ad una diversificata e rapida crescita della produzione accademica sul tema, le domande su cosa conti veramente valutare per catturare la capacità di resilienza e come misurarla sono diventate questioni a cui dare risposta risulta complicato. Un numero sempre maggiore di indicatori proposti, l'inevitabile e frequente ripetitività tra questi, oltre al diverso grado di misurazione settoriale che ognuno produce, hanno generato confusione su cosa dovrebbe essere considerato essenziale per la determinazione della resilienza rispetto alle finalità di ricerca che ci si propone. Viene da chiedersi se applicazioni e definizioni anche molto distanti tra loro possano convivere nell'uso dello stesso termine. Non c'è il rischio di svuotare di significato il concetto di resilienza cercando di adattarlo a ogni tipo di uso e finalità? La resilienza può essere vista come un concetto fagocitante, desideroso di connettersi e diventare il centro gravitazionale di altre nozioni. Dalla sua introduzione il raggio d'azione non sembra essersi fermato. Gillespie-Marthaler et al. (2019) hanno costruito una classificazione utile a muoversi tra i numerosissimi indicatori di resilienza che sono stati sviluppati. Il primo livello della classificazione assegna all'indicatore un dominio di riferimento tra sociale, economico e ambientale. All'interno di ciascun dominio vengono poi identificate delle sottocategorie in grado di fornire maggiore specificità rispetto a ciò che ogni indicatore mira a cogliere. La terza direttrice della classificazione considera l'essenza di processo progressivo della resilienza e le necessità di rispondere a bisogni gerarchicamente diversi. Si tratta di necessità e capacità che le comunità cercano di raggiungere e mantenere anche a seguito di shock fondamentali per realizzare in definitiva la resilienza. In tabella 2.1 lo schema riassuntivo dei livelli di classificazione sviluppato da Gillespie-Marthaler et al. del 2019:

Tabella 2.1: Classificazione indicatori per dominio di appartenenza

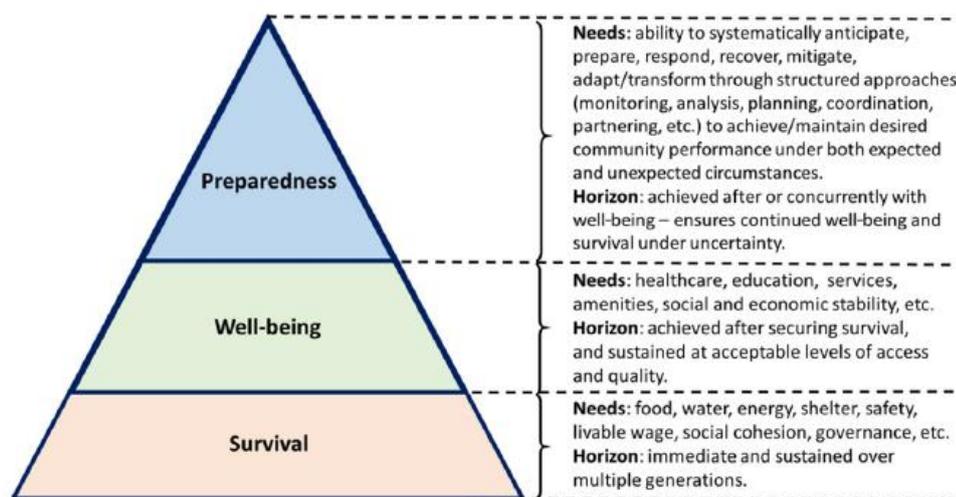
Primary/Secondary Capital System	Indicator Intent	Hierarchical priorities to achieve community
	Social	Survival
Community composition	Populations and their relative abilities to cope with stress within the community	
Governance	Leadership, management, accountability, and capacity for response	
Policy and planning	Promulgation and implementation of policies and plans to aid communities in anticipating, preparing for, responding to, and recovering from hazards	
Services	Critical community services needed to sustain healthy, educated, and safe communities	
	Economic	Well Being
Micro-/mesoeconomic efficiency	Health, preparedness, flexibility, diversity, and capacity of individual businesses, markets, and industries within the community	
Macroeconomic stability	Economic stability, capacity, and growth potential of the internal community and its external economic partners (state, regional, national, international)	
	Environmental	Preparedness
Built	Operation, and maintenance of critical infrastructure and supporting networks, housing, shelter, and other facilities needed to support and sustain communities	
Natural	Availability, quality, and quantity of natural systems and resources necessary to support and sustain communities	
General	Systems that are combinations of built and natural systems needed to support and sustain communities	

Fonte: Gillespie-Marthaler L., et al. (2019). Tabella 4, Pag. 10

A seconda della scala temporale di valutazione e del livello di priorità e sviluppo della comunità presa in analisi, gli indicatori sono classificati rispetto ad una terza dimensione e vengono riferiti a:

- Aspetti legati alla sopravvivenza (*survival*)
- Aspetti legati al benessere (*well-being*)
- Valutazioni rispetto alla preparazione agli shock (*preparedness*)

Figura 2.1: Classificazione indicatori per dimensione di priorità della resilienza



Fonte: Gillespie-Marthaler L., et al. (2019). Fig. 2, Pag.12

Gli indicatori classificati come riferiti alla sopravvivenza catturano gli aspetti relativi alle immediate priorità e necessità di una comunità a seguito dello shock. Una volta soddisfatte le condizioni che garantiscono la sopravvivenza, le comunità sono in grado di progredire verso il raggiungimento di adeguati livelli di benessere. Questi secondi aspetti sono oggetto di misurazione degli indicatori legati al secondo ordine. L'ultimo gruppo di indicatori riferito alla *preparedness* raccoglie le metriche in grado di cogliere la capacità della comunità di influenzare le condizioni future grazie ad una migliore gestione e ad una pianificazione sistematica in ottica di mitigazione del rischio.

Dalla classificazione degli indicatori sviluppati in letteratura, emerge la natura complessa e dinamica della resilienza. Ogni metrica sviluppata cerca di individuarne le caratteristiche salienti. Risponde al concetto di definizione nominale cercare di cogliere l'essenza di una cosa attraverso gli usi che ne vengono fatti. Il tentativo di riassumere un fenomeno così multiforme in misure sintetiche pone i ricercatori davanti ad un *trade-off*. Ogni qual volta metriche in grado di cogliere aspetti diversi vengono aggregate in un'unica misura si deve registrare una perdita informativa e occorre mettere in conto una crescente difficoltà nella comprensione del significato dell'indicatore. Dall'altro lato del

trade-off, si deve considerare come un'analisi parziale, focalizzata su una dimensione della resilienza, goda di maggiore capacità interpretativa ma comporti necessariamente la rinuncia a cogliere le numerose sfaccettature della resilienza, tutte rilevanti e correlate tra loro.

Per orientarsi nella miriade delle metriche proposte e sviluppare un contributo empirico sul tema della resilienza potrebbe risultare utile porsi le domande suggerite da Faggian et al. nel lavoro del 2018:

1. *Resilience “to what”?*
2. *Resilience “of what”?*
3. *Resilience “over what period”?*

Rispetto alla prima domanda occorre chiedersi rispetto a cosa si vuole misurare la resilienza, a quale shock si fa riferimento. Se l'ideale è valutare la resilienza "complessiva" di un sistema economico a tutti i possibili fattori di stress esterni, appare molto più concreto decidere di concentrarsi su specifiche casistiche. La stessa domanda si pone per quale dimensione della resilienza indagare con maggiore specificità anche rispetto alla tipologia di shock scelto. La seconda domanda, *resilience of what*, vuole portare all'identificazione di due tipi di soggetti. Il primo riguarda l'unità di analisi di riferimento da studiare, si intende cioè la scala territoriale cui rivolgere l'analisi. Questa scelta è spesso indirizzata dalla disponibilità di dati che si hanno. Il secondo riferisce la domanda a quale metrica impiegare per misurare la resilienza, quale variabile sintetizza l'essenza del fenomeno. Tradizionalmente le misure maggiormente impiegate per valutare la resilienza economica su scala regionale sono la variazione nell'occupazione rispetto alla media nazionale (Martin, 2012), oppure del PIL pro-capite. Per misurare la capacità di innovazione viene spesso impiegato come *proxy* il numero di brevetti depositati. Le misure impiegabili sono potenzialmente infinite e questa scelta, come le altre del resto, indirizza in maniera rilevante lo sviluppo della ricerca. La terza domanda, *Resilience over what period*, mira a identificare il quadro temporale migliore per valutare la resilienza. Resilienza di breve e lungo periodo si relazionano in maniera differente rispetto alle caratteristiche di territorio e shock. Rispondere a queste domande potrebbe costituire la *road map* ideale da seguire per orientarsi nella teoria non unificata della resilienza, aiutando a identificare il giusto percorso teorico lungo il quale fornire un contributo nell'elaborazione di indicatori efficaci per cogliere la natura dinamica e multidisciplinare della resilienza.

2.2 OLTRE IL PIL. LA RESILIENZA COME MISURA DI BENESSERE

Il termine resilienza è oggi impiegato dai *policy maker* per identificare un obiettivo di sviluppo delle nostre società che sia omnicomprensivo e non curi solamente l'aspetto economico. Accanto a resilienza spesso si accompagnano termini come sostenibilità, crescita e sviluppo. Il termine è contenitore perfetto per racchiudere tutte le finalità che le economie avanzate mirano a raggiungere. Vogliamo economie resilienti, comunità resilienti, ecosistemi resilienti. Per costruire sistemi resilienti occorre poter identificare e misurare il fenomeno, comprendendone i *driver*, costruendo *framework* e sistemi di monitoraggio che aiutino i decisori a comprendere se la direzione intrapresa sia quella giusta. Appare con maggiore evidenza la necessità di cambiare il modo in cui misuriamo il benessere delle nostre società. La resilienza incorpora il nuovo ideale di benessere nel XXI secolo. Per comprendere al meglio come misurare il nuovo concetto di benessere definito dalla resilienza, può essere utile esaminare le principali proposte storiche sulla misurazione economica. Ripercorrere queste proposte permette di ottenere una visione chiara e articolata, facilitando la declinazione quantitativa di questo nuovo paradigma di benessere.

Come per il valore dei beni, la misurazione del benessere è tema caro agli economisti sin dalla nascita della disciplina. Un primo tentativo viene fatto risalire a William Petty che nel 1654 condusse il primo studio sulla ricchezza di una nazione, analizzando il valore delle terre conquistate da Cromwell in Irlanda (Fioramonti L. 2013, *Gross Domestic Problem*, pag. 23). Adam Smith, in continuità con Petty, affermò che il benessere di una nazione derivava direttamente dalla sua ricchezza, la quale, a sua volta, dipendeva dalla produzione annuale della nazione. Nel XX secolo con l'avvento degli Uffici statistici nazionali la tematica sulla misurazione del benessere di una comunità ebbe un'accelerazione rilevante avendo come driver l'idea dell'esistenza di una relazione strettamente positiva tra produzione, ricchezza e benessere. La nascita del moderno concetto di PIL risale agli anni '30 del Novecento negli Stati Uniti. Nel paese colpito dalla Grande Depressione del '29 emerse la necessità di fornire ai decisori politici strumenti quantitativi in grado di indirizzare e far comprendere l'efficacia delle politiche intraprese. Il PIL, abbreviazione di Prodotto Interno Lordo, può essere definito una grandezza economica in grado di misurare il valore aggregato, espresso in valori monetari, di tutti i beni e i servizi finali, escludendo i prodotti intermedi, prodotti sul territorio di un Paese in un dato periodo temporale. Occorre specificare l'uso dei termini "interno": in quanto si considera tutta la produzione svolta entro i confini di nazionali, indipendentemente dalla nazionalità di chi ne trae i frutti, e "lordo": poiché non tiene conto del deprezzamento del capitale produttivo. Il Prodotto Interno Lordo (PIL) rappresenta un parametro fondamentale per la valutazione della performance economica

di una nazione e può essere calcolato attraverso tre diversi metodi, ognuno dei quali riflette una prospettiva particolare:

- Approccio del valore aggiunto o della produzione: Questo metodo implica la deduzione dei valori dei beni intermedi dalla produzione lorda, fornendo una stima dell'aggiunta di valore nella produzione totale (Samuelson & Nordhaus, 1995).
- Approccio del reddito: Questo approccio considera la somma delle diverse categorie di reddito - salari, rendite, interessi, svalutazioni - e sottrae i valori dei sussidi (Atkinson, 1970).
- Approccio della domanda finale: Il PIL, in questa prospettiva, emerge dalla somma algebrica di vari componenti, tra cui i consumi delle famiglie per beni e servizi finali, gli investimenti, la spesa pubblica e il valore netto delle esportazioni.

Nonostante la predominanza del PIL come indicatore di benessere, negli ultimi decenni sono state avanzate critiche riguardo alla sua capacità di rappresentare fedelmente il benessere complessivo di una società, portando alla ricerca di nuovi indici (Stiglitz, Sen, & Fitoussi, 2009). Organizzazioni internazionali come le Nazioni Unite e l'OCSE hanno contribuito alla standardizzazione e all'adozione di tali metriche a livello globale (UNDP, 1990). A partire dagli ultimi decenni del XX secolo, e con una crescente enfasi in anni più recenti, si sono manifestate diverse preoccupazioni riguardo alle carenze e alle distorsioni generate dalla misurazione del PIL (Stiglitz, Sen, & Fitoussi, 2009):

- 1- Distribuzione: Mentre il PIL fornisce una visione aggregata della performance economica di una nazione, rimane carente nel dettagliare come la ricchezza viene distribuita tra la popolazione. Non si può inferire da esso chi beneficia maggiormente della crescita o chi subisce maggiormente le conseguenze di una recessione. Numerosi economisti, di fronte a queste lacune, hanno proposto indici alternativi che riflettano meglio le disuguaglianze e la distribuzione della ricchezza (Atkinson, 1970; Piketty, 2014).
- 2- Quantità vs. Qualità: Il PIL serve come misura quantitativa della produzione totale di beni e servizi all'interno di un'economia, ma manca di incorporare una valutazione della qualità intrinseca di ciò che viene prodotto. Questo significa che un euro speso per l'acquisto di alcol o per scommesse al gioco d'azzardo viene valutato allo stesso modo di un euro investito in istruzione o servizi sanitari. Questa equivalenza non consente di valutare le reali implicazioni

per il benessere della società, dato che diverse spese hanno diverse ripercussioni sulla qualità della vita e sul benessere generale della popolazione.

- 3- Finanziamenti delle Spese: nella sua funzione di rappresentare la dimensione totale dell'attività economica, il PIL, non tiene conto della natura dei finanziamenti sottostanti le spese. Questo potrebbe creare una lacuna informativa in cui i consumi finanziati attraverso l'accumulo di debito sono indistinguibili da quelli finanziati da un genuino incremento del reddito o del potere d'acquisto delle famiglie. Tale mancanza può portare a una rappresentazione distorta della stabilità economica, poiché l'indebitamento eccessivo e le pratiche speculative possono mascherarsi dietro una crescita apparentemente solida del PIL. La natura dei servizi finanziari, in particolare, può variare notevolmente, oscillando tra l'allocazione produttiva di capitale e pratiche di speculazione che potrebbero avere effetti destabilizzanti sull'economia.

- 4- Esaurimento del Capitale Naturale e Servizi Ecosistemici: Una significativa criticità del PIL è la sua incapacità di contabilizzare le implicazioni ambientali dell'attività economica. Pur misurando la produzione economica aggregata, non si riesce a tener conto dei costi ambientali sostenuti per la stessa, come la degradazione del suolo, l'esaurimento delle risorse e l'emissione di gas serra. Queste esternalità negative, che vanno a contribuire a fenomeni come il riscaldamento globale e la perdita di biodiversità, non sono adeguatamente rappresentate nelle misurazioni del PIL, rendendo così questo indicatore un riflesso incompleto della salute reale di un'economia e del suo impatto sul mondo naturale.

Molte delle attività che contribuiscono in maniera significativa al benessere complessivo di una società non sono catturate dal PIL. Attività non di mercato come la genitorialità, l'istruzione, l'attività comunitaria, il volontariato e altri servizi civici non vengono contabilizzate, pur avendo un impatto profondo sulla qualità della vita e sulla coesione sociale. L'esclusione di queste attività dal PIL sottolinea la sua natura riduttiva e l'incapacità di fornire una rappresentazione completa del benessere reale di una società. In considerazione di queste carenze, il nesso tradizionalmente stabilito tra produzione, crescita economica, sviluppo e progresso ha iniziato a essere messo in discussione già a partire dagli anni '70 con il lavoro di Meadows del 1972 "*The Limits to Growth*". La centralità tradizionalmente attribuita a valori come la produzione e la ricchezza ha iniziato a essere affiancata,

e in alcuni casi superata, da nuovi concetti legati al benessere umano e alla felicità complessiva. Nel contesto accademico, economisti di primo piano come William Nordhaus e James Tobin hanno riconosciuto questi limiti e hanno cercato di fornire un'alternativa più completa al PIL. Nel 1972, hanno proposto il "*Measure of Economic Welfare*" (MEW) come un indicatore più ampio per valutare il benessere economico delle società (Nordhaus & Tobin, 1972). Il MEW tentava di contabilizzare vari fattori che il PIL tralasciava, come il tempo libero e la qualità dell'ambiente, cercando in tal modo di fornire una misurazione più accurata del vero benessere di una nazione. Negli stessi anni, il Re del Bhutan, Jigme Singye Wangchuck, introdusse un approccio rivoluzionario alla misurazione del progresso, proponendo il "*Gross National Happiness*" (GNH) come indicatore. A differenza del PIL, il GNH prende in considerazione una serie di dimensioni, tra cui la salute mentale, l'istruzione, la cultura e la sostenibilità ambientale, riconoscendo che la felicità e il benessere di una società sono multidimensionali e non possono essere catturati da un singolo indicatore economico (Ura et al., 2012). A partire dagli anni '90 le Nazioni Unite iniziarono a pubblicare l'annuale *Human Development Report* al cui interno veniva presentato un nuovo indice lo *Human Development Index* (HDI). L'indice di sviluppo umano (HDI) fornisce una singola misura per catturare tre dimensioni chiave dello sviluppo umano: la qualità della vita, intesa come una vita lunga e sana, l'accesso alla conoscenza e all'educazione e l'indicazione del tenore di vita. La proposta di questi nuovi indicatori ha da subito sottolineato la necessità di una visione più olistica e inclusiva del progresso, riconoscendo come la crescita economica, pur essendo un fattore importante, non è l'unico criterio su cui basare le decisioni politiche. Queste innovazioni hanno gettato le basi per ulteriori ricerche e dibattiti sui metodi per misurare e promuovere il benessere complessivo delle società in tutto il mondo. Con l'inizio del nuovo millennio le proposte di superamento del PIL sono via via aumentate e hanno visto il coinvolgimento delle organizzazioni sovranazionali. Con maggiore insistenza ci si è cominciati a chiedere se il PIL fosse ancora in grado di rappresentare al meglio lo stato di benessere di una società di fronte alle sfide cui il mondo andava ad affacciarsi. Fenomeni complessi di scala sovranazionale come globalizzazione, crisi climatica, rischi geopolitici e rivoluzioni tecnologiche, oltre a fenomeni locali di difficile soluzione come crescita delle disuguaglianze, relazione produzione-inquinamento, persistenza di alti livelli di disoccupazione nelle economie avanzate, hanno spinto verso una riconsiderazione della capacità del PIL di indicare lo stato di salute delle comunità.

La misura del benessere, tradizionalmente dedotta da indicatori macroeconomici, ha subito una notevole evoluzione a causa della crescente complessità delle economie avanzate e della conseguente necessità di adottare metodi statistici sempre più sofisticati. La guida "*System of National Accounts*"

(SNA), un punto di riferimento internazionale per il calcolo del PIL, ne è una chiara dimostrazione: la sua edizione del 1953, semplice e concisa, comprendeva meno di 50 pagine. Tuttavia, con l'avanzare del tempo e la maturazione delle metodologie contabili, l'edizione 2008 si è espansa a 722 pagine. Eppure, anche di fronte a questo crescente dettaglio, emergono questioni fondamentali. Ad esempio, come può un indicatore, nonostante la sua sofisticazione, catturare adeguatamente le sfumature qualitative di settori cruciali per il benessere come l'istruzione o la sanità? Questo pone seri interrogativi sulla capacità del PIL di fungere da indicatore onnicomprensivo del benessere e della qualità della vita. Considerazioni come queste fanno capire come indicatori fondati su prezzi e più in generale su valori quantitativi debbano essere interpretati con cura, non potendo rappresentare più uno strumento trasversalmente utile ai fini della valutazione del benessere, soprattutto nelle economie avanzate (Stiglitz J. Sen A. Fitoussi J. 2015, *La Misura Sbagliata delle Nostre Vite*, pag. 62. Parma, Rizzoli). Stiglitz, Sen e Fitoussi nel libro "La misura sbagliata delle nostre vite" del 2015 fanno notare come ciò che facciamo sia conseguenza di ciò che misuriamo e che se non riusciamo a cogliere ciò che riteniamo sia importante e se le nostre misure risultano distorte, allora rischiamo di prendere decisioni errate. L'utilizzo del PIL come obiettivo e non come strumento è una pratica pericolosa e distorsiva. Ad esempio, secondo il Patto di stabilità dell'Unione Europea, la quantità dei fondi che un governo può stanziare per beni e servizi pubblici, come il servizio scolastico e quello sanitario, è vincolato alla crescita del PIL. La diretta conseguenza di questa prescrizione sarebbe che a scarsa crescita del PIL dovrebbero corrispondere minori investimenti in assistenza sociale. L'interazione tra benessere economico e felicità ha generato molteplici dibattiti nella letteratura economica, specialmente in relazione alle economie avanzate. Se è vero che, in generale, le persone nei paesi più ricchi tendono a dichiarare livelli di soddisfazione superiore rispetto a quelle dei paesi più poveri, è altrettanto vero che tale relazione presenta alcune peculiarità. Il concetto di "effetto soglia", come delineato da Easterlin nel 1974, suggerisce che vi sia un punto oltre il quale ulteriori incrementi del reddito o del PIL non portino a un significativo aumento della felicità o del benessere percepito. Questo effetto si manifesta chiaramente nelle economie avanzate: una volta che un paese raggiunge un certo livello di benessere economico, altri fattori – come le relazioni sociali, la salute, l'istruzione e la qualità dell'ambiente – diventano più determinanti per la felicità rispetto al mero incremento del reddito. Le "relazioni non lineari" tra PIL e felicità indicano che, anche se il reddito medio di un paese continua a crescere, l'incremento della felicità può rallentare o addirittura fermarsi. Questa dinamica può essere spiegata da diversi fattori. Uno di essi è il "Paradosso di Easterlin", che sottolinea come, sebbene la ricchezza di una nazione possa aumentare nel tempo, la felicità media della sua popolazione rimanga invariata. Ciò può essere attribuito alle crescenti aspettative e desideri delle persone in una società prospera: mentre i loro redditi aumentano, anche le loro aspettative e desideri

crescono, annullando gli effetti positivi dell'aumento del reddito sul benessere percepito. Nelle economie avanzate, l'importanza delle disuguaglianze economiche e sociali viene spesso evidenziata, anche a fronte di una crescita del PIL, se la distribuzione della ricchezza non è equa, possono esistere tensioni sociali oltre ad una diminuzione del benessere complessivo. La percezione di felicità e benessere trascende la mera dimensione economica, rivelandosi come un fenomeno multidimensionale e intrinsecamente complesso. Queste dimensioni, infatti, sono anche legate a fattori psicologici e non soltanto alla pura accumulazione di ricchezza. Sebbene il benessere economico rappresenti un aspetto significativo, non può essere considerato l'unico determinante del benessere complessivo di un individuo. I termini "felicità" e "benessere" sono tradizionalmente associati alle esperienze e alle percezioni individuali. Riferendosi a concetti collettivi e comunitari, negli ultimi tempi, sono emersi concetti di ampio respiro tra loro correlati quali "resilienza" e "sostenibilità". Pur avendo significati distinti, questi termini sono utilizzati in maniera interscambiabile, rappresentando obiettivi che le economie moderne, in particolare quelle avanzate, aspirano a realizzare nel XXI secolo in riferimento al raggiungimento di un reale benessere collettivo.

Di fronte al fatto compiuto che nessuna nazione può influenzare in modo unilaterale le attuali dinamiche globali e climatiche, la sfida contemporanea risiede nella creazione di società capaci di adattarsi in maniera resiliente agli shock, sia economici che ambientali, perseguendo uno sviluppo sostenibile a lungo termine che sia in equilibrio con gli ecosistemi circostanti. Il PIL, nella sua forma attuale, non fornisce una valutazione completa della capacità di resilienza di una comunità, né può tracciare con precisione il percorso di una nazione verso obiettivi più ampi di sviluppo sostenibile. Queste lacune sono state evidenziate più volte da leader globali e istituzioni internazionali. Un esempio emblematico sono le parole di Ban Ki-Moon, ex segretario generale delle Nazioni Unite, durante la conferenza delle Nazioni Unite del 2012 sulla felicità e il benessere. Ban Ki-Moon sottolineò l'importanza di superare i limiti del PIL e di sviluppare un "nuovo paradigma economico" che metta in risalto i tre pilastri dello sviluppo sostenibile: sociale, economico e ambientale. Questo nuovo approccio al benessere si allinea strettamente con il concetto di resilienza. L'evoluzione, o il rimpiazzo, del PIL non è un compito semplice, si tratta di una questione che richiede un'attenta riflessione metodologica. Da un lato, vi è la possibilità di sviluppare nuovi indicatori che vengano oltre il PIL, misurando aspetti come la qualità della vita, la resilienza delle comunità e la sostenibilità ambientale. Dall'altro, si potrebbe optare per un adattamento o un'estensione del PIL, integrando in esso metriche aggiuntive che lo rendano più in linea con le esigenze contemporanee. In definitiva, mentre l'urgenza di rivedere il ruolo del PIL è palpabile, il percorso da intraprendere rimane una questione aperta, richiedendo ulteriori ricerche, dibattiti e collaborazioni a livello globale. La proposta

del "*Measure of Economic Welfare*" (MEW) di Nordhaus e Tobin rappresenta uno dei primi e più influenti tentativi di andare oltre le tradizionali metriche del PIL per valutare il benessere economico di una società. In un'epoca in cui l'importanza del PIL come principale indicatore di salute economica era consolidata e largamente accettata, l'approccio critico e innovativo di questi due economisti ha gettato le basi per una riflessione più ampia sull'adeguatezza di tale misura. L'obiettivo principale era di elaborare un indicatore che rispecchiasse in maniera più accurata il reale benessere delle persone, includendo aspetti della vita quotidiana spesso trascurati dalla contabilità nazionale standard escludendone altri in virtù anche di considerazioni etiche. La decisione di escludere le spese militari dal MEW era una di queste, suggerendo che tali spese, pur potendo contribuire alla crescita del PIL, non contribuivano necessariamente al benessere di una società. Questa scelta rifletteva una visione secondo la quale non tutto ciò che è prodotto e venduto contribuisce effettivamente al progresso e al benessere di una comunità. La loro attenzione verso il tempo libero e il lavoro domestico rappresentava un riconoscimento dell'importanza delle attività non monetizzate. Con l'inclusione di questi elementi nell'indicatore decisero di evidenziare l'essenziale contributo di attività che, sebbene non abbiano un valore di mercato diretto, sono cruciali per la qualità della vita delle persone. La contabilizzazione delle esternalità negative, intese come i costi non riflessi nei prezzi di mercato ma sostenuti dalla società (come l'inquinamento), fu un altro tentativo di rendere l'indicatore più comprensivo ed olistico. Ciò implicava una presa di coscienza del fatto che, mentre alcune attività economiche possono generare profitti e contribuire al PIL, possono anche avere costi sociali o ambientali che diminuiscono il benessere complessivo. Il MEW proposto da Nordhaus e Tobin non era inteso come una rievazione totale del PIL, ma piuttosto come un'estensione e un perfezionamento dello stesso. Era un tentativo di catturare una visione più olistica del benessere, riconoscendo che il progresso economico, per essere veramente significativo, deve essere valutato attraverso una lente più ampia rispetto al semplice aumento della produzione di beni e servizi.

Visione diversa fu quella adottata da Robert Eisner il quale ha proposto una revisione completa e fondamentale del sistema contabile nazionale. Fu proposto un sistema contabile alternativo conosciuto come "*The Total Incomes System of Accounts*" (TISA) per rispondere a molte delle lacune e delle carenze associate alla tradizionale misurazione del Prodotto Interno Lordo (PIL). TISA rappresenta un tentativo di fornire una rappresentazione più completa e accurata dell'attività economica di una nazione. Al suo interno vengono prese in considerazione la produzione non di mercato come quella di mercato, includendovi i servizi dell'economia domestica, la formazione di capitale pubblica e privata, oltre a contabilizzare il capitale umano e immateriale investito in istruzione, ricerca e sviluppo e assistenza sanitaria, al pari del capitale tangibile. L'indicatore tiene

anche conto delle attività delle istituzioni senza scopo di lucro, del governo, delle imprese pubbliche e delle famiglie, includendo i principali contributi dei settori non commerciali al totale del reddito nazionale. La proposta di Eisner con il TISA è stata un tentativo di andare oltre la semplice misurazione della produzione economica per cercare di catturare una rappresentazione più completa del vero benessere e progresso di una società. Il lavoro dell'economista Herman Daly e del teologo John Cobb (1989) costituisce uno dei primi tentativi di combinare dati di natura economica con dati sociali e ambientali. L' *Index of Sustainable Economic Welfare*, ISEW, vuole essere una misura sintetica di tipo monetario del benessere sostenibile prodotto da un paese misurando benefici e costi delle attività economiche. L'indicatore considera il deperimento delle risorse naturali e le perdite ambientali a causa delle attività economiche così come incorpora misure delle disuguaglianze nella distribuzione del reddito. Il lavoro di Daly e Cobb nonostante abbia ricevuto numerose critiche (Neumayer E. 1999) rappresenta uno dei punti di riferimento per la definizione di nuovi indicatori in grado di incorporare le tre direttrici del benessere umano nella letteratura accademica contemporanea. L'ISEW (*Index of Sustainable Economic Welfare*) e le sue varianti, come il *Genuine Progress Indicator* (GPI), rappresentano tentativi critici di reimmaginare come concepiamo e misuriamo il progresso economico. La loro diffusione in più di 20 nazioni attesta l'emergente consapevolezza dell'insufficienza delle tradizionali misure di progresso basate esclusivamente sulla crescita del PIL. Analisi empiriche condotte su questi indicatori alternativi hanno rivelato una divergenza significativa rispetto all'andamento del PIL. In particolare, mentre il PIL di molti paesi ha continuato a crescere nel corso del tempo, l'ISEW o GPI ha mostrato fasi di stazionarietà o addirittura di decremento.

Anche le organizzazioni internazionali, come l'ONU, la Commissione Europea e l'OCSE, hanno riconosciuto lacune nel PIL avviando sforzi per sviluppare nuovi strumenti e framework che possano complementare e ampliare la comprensione tradizionale basata sul PIL. Esempi ne sono L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile dell'ONU e i suoi 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs). Gli SDGs offrono un quadro ampio e integrato che va oltre la mera crescita economica, abbracciando una gamma di temi come l'eliminazione della povertà, la salute, l'istruzione, l'uguaglianza di genere, l'acqua pulita, l'energia sostenibile e l'azione per il clima, tra gli altri. Allo stesso modo la strategia "Europa 2020" della Commissione Europea ha posto l'accento su una crescita "intelligente, sostenibile e inclusiva". Parallelamente, l'iniziativa "*Beyond GDP*" cerca di sviluppare indicatori che riflettano meglio il progresso economico, sociale e ambientale. Anche l'OCSE ha introdotto attività di ricerca e misurazione di alternative al PIL come dimostra l'iniziativa "*Better Life Index*" dell'OCSE si propone di misurare il benessere in paesi in tutto il mondo attraverso una varietà di dimensioni,

come l'istruzione, l'ambiente, la governance, la salute, la vita, la sicurezza, l'equilibrio tra vita-lavoro e altro.

L'HDI sviluppato dalle Nazioni Unite sulla base del paradigma teorico dello sviluppo umano di A. Sen utilizza quattro parametri chiave:

- L'aspettativa di vita alla nascita
- Gli anni di scolarizzazione previsti – per valutare l'accesso alla conoscenza delle giovani generazioni. Misura il numero di anni di scolarizzazione che un bambino in età di ammissione alla scuola può aspettarsi di ricevere se gli attuali tassi di iscrizione specifici per età persistono per tutta la vita del bambino.
- Gli anni medi di scolarizzazione – per valutare l'accesso alla conoscenza delle generazioni in essere. Stima il numero medio di anni di scolarizzazione totali ricevuti da adulti di età pari o superiore a 25 anni
- Il reddito nazionale lordo (RNL) pro capite - per valutare il tenore di vita

Due passaggi sono necessari per calcolare l'HDI:

- 1) Il primo mirato a formare indici per ciascuna delle quattro metriche. I valori di ciascuna delle quattro metriche vengono prima normalizzati a un valore di indice compreso tra 0 e 1. A tale scopo, l'UNDP imposta i limiti massimo e minimo su ciascuna metrica, come mostrato nella tabella

Tabella 2.2. Dimensioni, indicatori e valori che compongono lo HDI

Dimension	Indicator	Minimum	Maximum
Health	Life expectancy (years)	20	85
Education	Expected years of schooling (years)	0	18
	Mean years of schooling (years)	0	15
Standard of living	Gross national income per capita (2011 PPP \$)	100	75000

Con il valore effettivo per un determinato paese e il massimo e il minimo globali, il valore della dimensione (indici) per ciascuna metrica viene calcolato come:

$$\text{Dimension index} = \frac{\text{actual value} - \text{minimum value}}{\text{maximum value} - \text{minimum value}}$$

L'indice di dimensione è quindi 1 in un paese che raggiunge il valore massimo ed è 0 per un paese che è al valore minimo.

- 2) Aggregazione delle quattro metriche per produrre l'HDI. L'indice è calcolato come la media geometrica (equamente ponderata) dell'aspettativa di vita, dell'istruzione e dell'RNL pro capite, come segue:

$$HDI = (I_{Health} * I_{Education} * I_{Income})^{1/3}$$

La dimensione educativa è la media aritmetica dei due indici di istruzione (anni medi di scolarizzazione e anni di scolarizzazione previsti).

In Italia, tra le principali esperienze di superamento del PIL come misura di benessere, va annoverato il progetto di Istat e CNEL che nel 2010 avviano il “Gruppo di indirizzo sulla misura del progresso della società italiana” e che nel 2013 porta alla pubblicazione del primo Rapporto BES. L’acronimo BES, Benessere Equo e Sostenibile declina perfettamente le finalità del rapporto. L’idea è dar conto degli aspetti rilevanti multidimensionali del benessere (*well-being*) dei cittadini attraverso l’elaborazione di indicatori complementari al PIL. Particolare attenzione è rivolta agli aspetti di equità e alla sostenibilità ambientale, fondamentali per garantire la continuità temporale del benessere. Il Rapporto Bes individua i fattori che hanno un impatto diretto sul benessere umano e sull’ambiente attraverso 12 domini – Salute, Istruzione e formazione, Lavoro e conciliazione dei tempi di vita, Benessere economico, Relazioni sociali, Politica e istituzioni, Sicurezza, Benessere soggettivo, Paesaggio e patrimonio culturale, Ambiente, Ricerca e innovazione, Qualità dei servizi – declinati dal 2015 in 130 indicatori di varia natura: oggettivi e soggettivi questi ultimi raccolti con la finalità di raccogliere le percezioni e opinioni dei cittadini, consentendo di acquisire informazioni complementari su aspetti ed eventi della realtà oggetto di indagine che non sarebbero individuabili altrimenti. Gli indicatori del rapporto Bes mirano a considerare anche aspetti legati alla vulnerabilità e resilienza analizzate nelle loro dimensioni, rispettivamente, di fattori di rischio e fattori abilitanti. I primi possono mettere in crisi gli equilibri, i secondi si riferiscono a livelli di benessere, capabilities e capitali a disposizione che, al contrario, si presentano come fattori di contenimento dei rischi e/o di capacità di reazione e ristabilimento dello stato di benessere. Il Rapporto BES è elaborato per il più ampio set di indicatori su scala regionale. Dal progetto sul calcolo del Benessere Equo e Sostenibile

l'Istat negli ultimi anni in collaborazione con altre istituzioni ha avviato la raccolta di molti indicatori a scale territoriali minori (provinciali e comunali). È così nato il progetto URBES. Sono stati identificati 64 indicatori territoriali, di cui 47 riconducibili al Bes nazionale e altri 17 indicatori concernenti tematiche e risvolti significativi anche in un'ottica di benessere urbano. Ad essere coinvolte sono state per lo più le città metropolitane e di media grande dimensione. Disporre di informazioni multidimensionali a scala ridotta come quella comunale è in grado di innescare un circolo virtuoso intercettando la domanda dei cittadini di una maggiore trasparenza e una più ampia informazione sulla governance. La rendicontazione periodica sullo "stato della città" darebbe modo ai cittadini di valutare l'azione di governo del territorio da parte dei suoi amministratori e di sviluppare esperienze di partecipazione e di democrazia locale basate sul principio di accountability. La legge di riforma dei contenuti della Legge di bilancio (n. 163 del 2016) ha stabilito che le politiche pubbliche vengano regolarmente monitorate e valutate anche alla luce degli effetti sugli indicatori di benessere equo e sostenibile. Dal 2017, il governo ha recepito la modifica di legge inserendo al Documento di Economia e Finanza un allegato sull'andamento nel paese del Benessere Equo e Sostenibile. L'Italia è stato così il primo paese dell'Unione e del G7 in cui il governo affiancava nella programmazione economica oltre al PIL indicatori sulla valutazione multidimensionale della qualità della vita di cittadini e società.

Il lavoro di Cobb e Daly (1989) precedentemente presentato ha avviato un filone di ricerca che ha portato a numerosi sviluppi. Tra questi si può annoverare il lavoro di Armiento (2018). L'autore elabora un indicatore sintetico di carattere monetario definito *Sustainable Welfare Index* (SWI). Le basi teoriche di riferimento della misura sono riconducibile all'ISEW di Daly e Cobb. Il SWI è così derivato dalla somma algebrica di 17 componenti, riuscendo così a coprire ambiti economici, sociali ed ambientali. Di seguito, Tabella 2.3, l'elenco delle grandezze che entrano nell'indicatore, il metodo di calcolo e le fonti da cui sono stati reperiti i dati per il periodo di indagine.

Tabella 2.3. Metodologia e formula di calcolo del SWI e fonti dei valori per l'Italia, 1960-2013

Table 1 – Methodology, calculation formula of SWI items and sources of Italy's SWI, 1960-2013

SWI item	Methodology	Calculation formula	Sources of Italy's SWI, 1960-2013
A) Private consumption expenditure (+)	Current private consumption expenditure (C) is converted at constant prices with private final consumption expenditure price deflator.	C	AMECO database.
B) Welfare losses due to income inequality (-)	Welfare losses due to income inequality (W _i) are calculated subtracting from private consumption expenditure (C) the ratio between private consumption expenditure (C) and the income distribution index (IDI _{dom}). The latter represents the ratio between the GINI coefficient of the year and the lowest GINI coefficient of the period.	$W_i = C - C/IDI_{dom}$	C: AMECO database - GINI Index [1960-2010]: Atkinson, A. and Morelli, S. (2014). <i>Chartbook of economic inequality</i> . ECINEQ WP, 324. GINI Index [2011-2013]: Amendola, N. and Vecchi, G. (2015). <i>A History of Living Standards in Italy, 1861-2011</i> . Monograph for Oxford University Press.
C) Services provided by non-paid domestic work (+)	The value of non-paid domestic work (D _w) is estimated multiplying the minimum hourly salary of an experienced housemaid (W _s) by the average hours spent during a year in domestic activities (H _d) by the population aged 15-64 (P ₁₅₋₆₄).	$D_w = P_{15-64} \cdot W_s \cdot H_d$	P ₁₅₋₆₄ : AMECO database - W _s : ISTAT, AMECO database and INPS (2007). <i>Il lavoro domestico</i> . - H _d : ISTAT report surveys on time use.
D) Services provided by R&D and by public expenditure in health and education (+)	The public expenditure in health (G _h) and education (G _e) and the total expenditure in research and development (R&D) are summed.	$S = G_h + G_e + R\&D$	G _h and G _e [1960-1988]: Franco, 1993, <i>Spesa pubblica in Italia 1960-1990</i> , Il Mulino. G _h and G _e [1990-2013]: Eurostat. R&D: ISTAT.
E) Social cost of vehicle accidents (-)	The cost of vehicle accidents (V) is estimated multiplying the number of deaths (D) and wounded persons (W) in a vehicle accident by an estimate of their respective social cost (C _d and C _w) and summing the results.	$V = (D \cdot C_d) + (W \cdot C_w)$	D and W: ISTAT. - C _d and C _w : ACI (2009), <i>I costi sociali degli incidenti stradali</i> : anno 2008.
F) Cost of commuting (-)	The cost of commuting (C _c) is estimated multiplying the number of commuters using private transport (N _{pr}) by their average annual expense (E _{pr}) and multiplying the number of commuters using public transport (N _{pub}) by their average annual cost (E _{pub}) and summing the results.	$C_c = (N_{pr} \cdot E_{pr}) + (N_{pub} \cdot E_{pub})$	N _{pr} and N _{pub} : ISTAT. - E _{pr} and E _{pub} : CENSIS (2007). <i>Indagine sul pendolarismo</i> . Fondazione CENSIS.
G) Cost of noise pollution (-)	The cost of noise pollution (N) is estimated through a model of hedonic pricing on real estate that evaluates the damage cost of noise. It is hypothesized that the value of a house (P _h) is based on its own characteristics (S _h), on the characteristics of the place (I _h) and on its environmental qualities such as noise (Q _n). The derivative of price with respect to noise represents its hedonic price i.e. the value that individuals implicitly assign to it.	$N = \Delta f (S_h; I_h; Q_n) / \Delta P_h$	N: Duriello R., Rutaris L. (2001). <i>Il costo dell'inquinamento atmosferico e del rumore in Italia</i> . In ANFIA-ACI I costi e i benefici esterni del trasporto, pp. 1-60.
H) Cost of water pollution (-)	The cost of water pollution (W _p) is obtained estimating the potential pollution load of each year (P) and multiplying it by the average total cost of a purification plant (C _p) to abate 60 grams of BOD ₅ (this parameter corresponds to the average daily amount of pollution load produced by a population equivalent).	$W_p = P \cdot C_p$	P: ISTAT, <i>Livelli di inquinamento delle acque reflue</i> . - C _p : ISPRA (2009). <i>L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei risparmi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici</i> .
I) Cost of air pollution (-)	The cost of air pollution (A) is estimated multiplying the damage cost per tonne of emission of each air pollutant (NH ₃ , NO _x , SO ₂ , NMVOCs) by the annual emissions and summing the resulting costs.	$A = (C_{NH3} \cdot E_{NH3}) + (C_{NOx} \cdot E_{NOx}) + (C_{SO2} \cdot E_{SO2}) + (C_{NMVOCs} \cdot E_{NMVOCs})$	C: European Environment Agency (2011). <i>Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe</i> . Technical report 15/2011. - E: ISPRA - SINANET.
J) Cost of urbanization (-)	The cost of urbanization (U _c) is estimated multiplying an estimate of the cost of restoration/fer-fertilization (R _c) of a hectare of urbanized farmland by the annual amount of farmlands lost with respect to the previous year (H _{pr,t} - H _{pr,t-1}).	$U_c = R_c \cdot (H_{pr,t} - H_{pr,t-1})$	R _c : Oglioni F. (2003). <i>Stima del valore della risorsa suolo</i> . In Gibelli M.G. (a cura di), <i>Il paesaggio delle frange urbane</i> . Quaderni del Piano Territoriale, n. 19, Provincia di Milano, Franco Angeli, pp. 41-44, Milano. - H _{pr} : FAO Statistics.
K) Depletion of non-renewable resources (-)	The depletion of non-renewable resources represents the average value of fossil fuels (crude oil, gas and coal) consumed and non energetic minerals extracted in Italy in each year. The quantity of coal (Q _c), crude oil (Q _o), gas (Q _g) and non energetic minerals (Q _m) is multiplied by their specific average market price in 2005 (in that year energy prices have been very stable) in order to exclude exogenous factors that influence negatively international price trends.	$D = (Q_c \cdot P_c) + (Q_o \cdot P_o) + (Q_g \cdot P_g) + (Q_m \cdot P_m)$	Q _c , Q _o , Q _g and Q _m : ISTAT - P _c , P _o and P _g : United States Energy Information Administration (EIA) - P _m : ISTAT.
L) Social cost of annual carbon dioxide emissions (-)	The social cost of carbon dioxide emissions (C _{CO2}) is estimated multiplying the marginal (increasing) damage cost of a metric-tonne of CO ₂ (C _i) by the annual metric-tonnes of carbon dioxide emitted from the burning of fossil fuels (E _{CO2}).	$C_{CO2} = C_i \cdot E_{CO2}$	C _i : Government Economic Service, (2002). <i>Estimating the social cost of carbon emissions</i> . GES Working paper 140, London, UK. - E _{CO2} : World Bank, (2012). <i>World Development Indicators 2012</i> . World Bank.
O) Net fixed capital formation (+/-)	The net fixed capital formation (S _f) - deflated with price deflator of the gross fixed capital formation (total economy) - is the difference between the gross fixed capital formation (G _f) and the consumption of fixed capital (C _f).	$S_f = G_f - C_f$	AMECO database.
P) Variation of the net international investment position (+/-)	The annual variation of the net international investment position (ΔI _{ip,t}) corresponds to the difference between the stocks of net international investment position in the given year (I _{ip,t}) and in the previous one (I _{ip,t-1}), smoothing out fluctuations with a five-year rolling average.	$\Delta I_{ip,t} = I_{ip,t} - I_{ip,t-1}$	I _{ip} [1950-1997]: Committeri, M. (1999). <i>Errori ed omissioni nella bilancia dei pagamenti, esportazioni di capitali e apertura finanziaria dell'Italia</i> . Temi di discussione del servizio studi Banca d'Italia. I _{ip} [1998-2013]: Bank of Italy.

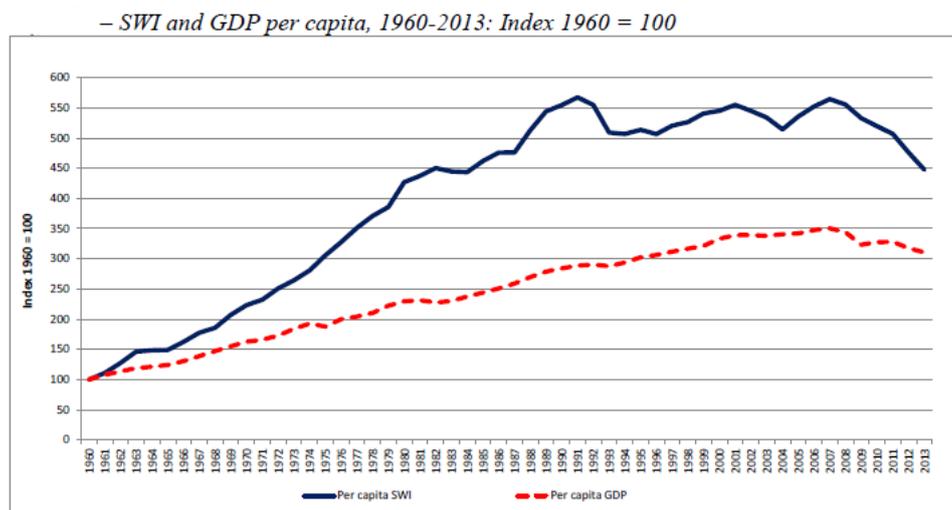
Source: own elaboration

Fonte: Armiento M., (2018), Tabella 1, Pag. 10,

Armiento nel lavoro calcola l'SWI e le sue componenti a livello nazionale. Nella Figura 2.2 lo SWI pro capite e il PIL pro-capite sono visualizzati così da confrontarne le tendenze nel periodo 1960-2013. Come si può chiaramente notare, PIL e SWI pro-capite seguono quasi lo stesso andamento nei primi tre decenni, evolvendo in parallelo, sebbene il valore monetario del welfare sostenibile sia significativamente inferiore ai dati del PIL. Infatti, con due eccezioni (1975 e 1993) il PIL pro-capite cresce continuamente fino al 2007, quando inizia ad invertire, mentre lo SWI pro-capite cresce costantemente fino al 1991 (con due eccezioni nel 1983 e 1984) per poi stabilizzarsi con oscillazioni significative. In particolare, dopo il 1991 lo SWI pro-capite scende e inizia a riprendersi lentamente solo nel 1997; nel 2001 raggiunge un altro picco (inferiore al 1991) per poi decrescere fino al 2004, quando peggiora rispetto al 1997. Dal 2005 al 2007 l'SWI pro-capite aumenta, ma torna ad un livello inferiore rispetto al 1991, che rappresenta finalmente il massimo picco di SWI pro capite nell'intero

periodo. Va evidenziato che dall'inizio della crisi economica e finanziaria del 2008 il welfare sostenibile pro-capite è in continuo calo; nel 2013 raggiunge un livello inferiore rispetto al 1985; d'altra parte, nello stesso anno (2013) il PIL reale pro-capite è tornato al livello del 1997.

Figura 2.2. Grafico andamento SWI e GDP per capita per l'Italia, 1960-2013



Fonte: Armiento M., (2018), Figura 9, Pag. 28

Tabella 2.4. tassi di crescita di SWI e GDP per capita, Italia, 1960-2013

– SWI and GDP per capita growth rates

Years	Per capita SWI average growth rate	Per capita GDP average growth rate	Difference between SWI and GDP per capita
1960-1970	12.33%	6.25%	6.08%
1970-1980	9.12%	4.12%	5.00%
1980-1990	2.99%	2.38%	0.61%
1990-2000	-0.17%	1.73%	-1.91%
2000-2010	-0.46%	-0.17%	-0.29%
2010-2013	-4.64%	-1.72%	-2.92%
1960-2013	6.32%	3.83%	2.49%

Source: own elaboration on data presented in Section 3 and AMECO database

Fonte: Armiento M., (2018), Tabella 3, Pag. 28

La nuova concezione multidimensionale del benessere ha avuto come effetto principale la proliferazione di indicatori, modelli e *framework* sempre più articolati ed esaustivi, non senza effetti potenzialmente negativi. Guardando alla documentazione prodotta a livello globale rispetto allo sviluppo sostenibile si rischia di rimanere confusi.

L'Agenda 2030 delle Nazioni Unite rappresenta un tentativo ambizioso di tracciare una *roadmap* per un futuro sostenibile. Composta da 17 SDGs con 169 target specifici, questa agenda si propone come un *framework* universale, applicabile a tutte le nazioni indipendentemente dal loro livello di sviluppo. Sebbene rappresenti un enorme passo in avanti, l'implementazione degli SDGs ha presentato sfide, in particolare per quanto riguarda la trasposizione dei target globali in azioni e strategie locali. L'Italia, come molti paesi dell'UE, ha recepito l'Agenda 2030 attraverso la revisione e l'aggiornamento delle proprie strategie nazionali. La creazione delle “Strategie Regionali Sviluppo Sostenibile” (SRSvS) Legge n. 221/2015 di modifica all’art. 34 del D.lgs n. 152/2006, dimostra l'importanza di un approccio multilivello, dal nazionale al regionale, per affrontare sfide diverse e specifiche. Tuttavia, l'articolazione di tali strategie su diversi livelli amministrativi può portare a possibili sovrapposizioni o lacune. La crisi pandemica e quella climatica hanno ulteriormente spinto le istituzioni a dover tener conto degli aspetti sociali ed ambientali. L'*European Green Deal*, con le sue numerose strategie e piani d'azione, rappresenta un tentativo di ridefinire il modello di crescita europeo, con un focus marcato sulla sostenibilità. Se da un lato questo approccio poliedrico consente di affrontare questioni specifiche e cruciali, dall'altro rischia di creare un sistema complesso e frammentato. Sotto il grande cappello de “*European Green Deal*”, tra il 2020 e il 2021 l’Unione Europea ha pubblicato:

- Il “*Circular economy action plan*”, marzo 2020, che prevede 35 azioni di intervento
- La “*UE Biodiversity strategy 2030*”, maggio 2020, con target specifici declinati in più di 100 azioni
- Il “*Zero pollution Action Plan*”, maggio 2021, che prevede 33 azioni da intraprendere

Queste politiche si declinano poi in altre maggiormente specifiche quali:

- La “*Chemicals Strategy*”
- L’”*Environment Action programme to 2030*”
- La “*Forest strategy*”
- La “*Plastic strategy*”
- La “*Soil Strategy*”

Ognuno di questi documenti articola al suo interno indicatori specifici per la misurazione e sistemi di monitoraggio e *outlook* da intraprendere. La crescente proliferazione di indicatori e sistemi di monitoraggio, sebbene necessaria per una valutazione accurata, ha generato una certa confusione. In assenza di una gerarchia chiara o di collegamenti causali tra i vari fenomeni, la miriade di indicatori potrebbe diluire l'efficacia del messaggio e rendere più arduo per i decisori politici identificare le priorità d'azione. L'impressione è quella che con l’obiettivo di considerare il benessere nella sua

interezza multidimensionale, si sia finiti a dare pari importanza ad ogni aspetto della nostra società. Nonostante decine di goal, target, e azioni da intraprendere sembrano mancare misure in grado di definire una scala di priorità di intervento e di collegare i diversi fenomeni tra loro secondo causalità. I recenti sviluppi in Italia come a livello sovranazionale hanno quindi visto la prevalenza dell'affiancamento di informazioni complementari al PIL rispetto al suo superamento con una nuova misura sintetica. Seppur l'intenzione sia quella di dare un'informazione completa il risultato sembrerebbe esser stato piuttosto quello di aver lasciato il PIL al centro di una galassia di indicatori che vi ruotano attorno aggiungendo informazioni settoriali e specifiche.

A questo riguardo il concetto di resilienza, usato come contenitore finale delle espressioni multidimensionali di benessere di una comunità, potrebbe tornare utile per riorganizzare la galassia sparsa di indicatori complementari. Definire una misura che identifichi nel senso più ampio possibile la capacità di un territorio di reagire a perturbazioni e spiegarla attraverso metriche di diversa natura ma legate tra loro alla misura della resilienza garantirebbe di riunificare sotto un'unica voce il fenomeno del benessere allargandolo al tempo stesso al più ampio numero possibile di dimensioni che lo compongono in via fondamentale.

2.3 LA VALUTAZIONE DEL BENESSERE ATTRAVERSO IL REMOTE SENSING. CONTESTO E LETTERATURA

Nonostante sia aumentata la comprensione del benessere e siano state proposte numerose misure, affrontiamo sfide crescenti nella misurazione e nell'attuazione pratica di queste comprensioni. Strumenti come l'*Human Development Index* (HDI) e il *Sustainable Welfare Index* (SWI) proposto da Armiento (2018) offrono panorami utili del benessere a livello nazionale, ma, come con qualsiasi vista panoramica, i dettagli possono andare persi. Questi indicatori, seppur validi, possono mascherare le disparità cruciali che esistono all'interno delle nazioni, tra regioni e, ancora più critico, tra aree urbane e rurali. Si potrebbe dire che la vera prova di una società progredita non sia solo nel suo benessere medio, ma in quanto riusciamo a "non lasciare nessuno indietro", *leave no one behind*. Sorge così un problema centrale legato alla granularità delle informazioni. Per eseguire politiche efficaci che affrontino le disparità, sono necessari dati dettagliati il più possibile a livello microterritoriale. Alcuni tentativi, come il BES con il progetto UrBES, sono stati fatti in questa direzione, cercando di portare la misurazione del benessere a scale più fini. Ma la carenza di dati a queste scale, persino nei paesi con sistemi statistici avanzati, rimane una sfida notevole. La mancanza

di una tale livello di granularità non è solo un ostacolo per la ricerca in ambito accademico; ha implicazioni reali e profonde. Senza una comprensione chiara delle dinamiche a livello locale, c'è il rischio concreto che le politiche possano diventare distorsive, esacerbando involontariamente le disparità piuttosto che alleviarle. Questo potrebbe tradursi in aree rurali trascurate a favore delle città, o in determinate comunità che rimangono ai margini del progresso. La filosofia di "non lasciare nessuno indietro" non è solo un ideale nobile, ma un imperativo pratico. Solo attraverso una raccolta di dati dettagliata, con una chiara comprensione delle dinamiche locali, si può sperare di indirizzare efficacemente le risorse, le attenzioni e le politiche dove sono più necessarie. Entrando in un'epoca ricca di opportunità, dobbiamo riconoscere che le sfide legate alla misurazione accurata e alla dettagliata raccolta delle informazioni sono cruciali. Affrontando questi ostacoli con impegno e determinazione, potremo davvero aspirare a una società in cui il benessere sia equamente distribuito. La politica economica, nella sua essenza, non è solo una questione di prendere decisioni informate, ma anche di farlo nel momento giusto. In un mondo in continua evoluzione, dove le economie sono interconnesse e reagiscono rapidamente agli eventi, l'importanza della tempestività delle informazioni non può essere sottovalutata. Gli strumenti tradizionali di raccolta dati, come i censimenti o le rilevazioni periodiche, pur essendo essenziali, spesso non riescono a cogliere la rapida evoluzione degli eventi economici. Il settore finanziario offre un esempio di come la *real-time information* può rivoluzionare la capacità di risposta. Gli investitori e i trader, con dati in tempo reale a frequenze anche inferiori al secondo, possono prendere decisioni, è il caso dell'*high frequency trading*. Questa reattività è cruciale in un mondo dove secondi possono significare variazioni significative del valore. Analogamente, la politica economica dovrebbe poter beneficiare di informazioni più tempestive adeguate alla sfera di intervento. La differenza tra il momento in cui si verificano gli eventi economici e il momento in cui questi dati diventano disponibili per l'analisi può avere conseguenze profonde. Un ritardo nella disponibilità delle informazioni può comportare una risposta ritardata, e in economia, come in medicina, una diagnosi tardiva può rendere una cura meno efficace o addirittura inutile. Una risposta precoce non solo può attenuare l'impatto di una crisi, in alcuni casi può anche prevenirne la manifestazione. Con dati tempestivi, i decisori possono intercettare tendenze e anomalie prima che diventino problemi a pieno titolo, consentendo interventi più tempestivi e mirati e riducendo la vulnerabilità del sistema. L'adeguatezza temporale, nella sua essenza, rappresenta un'evoluzione nel modo in cui concepiamo e implementiamo la politica economica. Così come il mondo finanziario ha abbracciato la tempestività come elemento vitale per il successo, anche la politica economica deve riconoscere e integrare questa realtà nel suo approccio. In un mondo in rapido cambiamento, la capacità di rispondere con la stessa velocità è non solo auspicabile, ma essenziale.

Come per i problemi microeconomici di fronte all'obiettivo di massimizzare tempestività e granularità delle informazioni esiste un vincolo con cui ci si deve confrontare e che non può essere tralasciato. In questo caso il vincolo è quello della qualità delle informazioni, della loro credibilità. Come sarà presentato nel lavoro raccolto in questo capitolo, questo tema, ed in particolare come certificare la qualità di certi dati in assenza di target già noti, limita ad oggi l'adozione di certe nuove fonti dati. Se da un lato è forte il desiderio di cogliere appieno le mille sfaccettature di un fenomeno complesso e centrale come quello del benessere proponendo nuove misure, ai ricercatori è richiesto anche di aumentare la qualità delle statistiche, anche di quelle esistenti, secondo le direttrici di granularità, comparabilità e tempestività. Le nuove tecnologie e l'avvento dei *big data* rappresentano una rivoluzione per la raccolta e l'analisi delle informazioni. Questi dati, spesso in tempo reale e di vasta portata, offrono opportunità senza precedenti per analizzare tendenze e comportamenti. Ma con queste opportunità vengono anche sfide. Per esempio, mentre i dati dei *social media* possono offrire intuizioni preziose sul comportamento umano, la loro affidabilità e rappresentatività possono essere discutibili. Oltre ai *big data*, le recenti innovazioni, come le immagini satellitari e le informazioni georeferenziate, hanno ampliato l'orizzonte informativo. Queste nuove fonti offrono dati di alta qualità e sono state adottate in vari campi, dalle scienze ambientali alle scienze sociali, dimostrando la loro utilità e affidabilità. A fronte delle immense opportunità delle nuove fonti di dati, occorre critica sull'importanza della qualità delle informazioni oltre che sull'etica del loro impiego. In un mondo in cui i dati abbondano, diventa essenziale garantire che le informazioni siano non solo abbondanti, ma anche accurate, affidabili e pertinenti. Solo attraverso un equilibrio tra queste esigenze si può sperare di trarre conclusioni significative e informate da questa abbondanza di informazioni. Disponibilità, Temporalità e granularità. Sono le tre principali caratteristiche su cui gli statistici cercano di intervenire per migliorare le basi dati. Ogni miglioramento rispetto a ciascuna di queste direttrici deve però garantire sempre il rispetto dei parametri di qualità delle misure.

I lavori accademici che riportano l'impiego di immagini satellitari o informazioni estratte da esse sono numerosi e rivolti a diversi ambiti. Di seguito vengono presentate alcune applicazioni di queste nuove fonti dati, non necessariamente *big*, allo sviluppo di misure del benessere per diverse scale, ambiti e territori. Il telerilevamento, o *remote sensing*, rappresenta uno dei progressi tecnologici più notevoli degli ultimi decenni con impatto significativo in vari settori. A differenza delle metodologie tradizionali di raccolta dati, che spesso richiedono una presenza fisica sul campo, il telerilevamento offre la possibilità di acquisire informazioni su vasti territori in tempi molto brevi e in modo ripetuto, permettendo monitoraggi dettagliati nel tempo tramite dispositivi di misurazione o sensori che non hanno un contatto diretto con l'oggetto, l'area o il fenomeno oggetto di indagine. Il principio

fondamentale del telerilevamento è la rilevazione delle radiazioni elettromagnetiche riflesse o emesse dalla superficie terrestre. Queste radiazioni, una volta catturate da un sensore, vengono analizzate per determinare le caratteristiche dell'area di interesse. I sensori possono essere montati su diverse piattaforme, come satelliti, aerei o droni. (Lillesand, Kiefer e Chipman, 2008) Il telerilevamento è ampiamente utilizzato per monitorare il cambiamento climatico, la deforestazione, l'erosione del suolo e altri fenomeni ambientali. Oltre all'ambito ambientale, il telerilevamento gioca un ruolo cruciale nella gestione delle risorse, fornendo mappature dettagliate delle risorse idriche, minerali, agricole e forestali. In ambito urbanistico, aiuta nella pianificazione e gestione dello sviluppo urbano, monitorando la crescita delle città, la densità abitativa e le infrastrutture. Nel campo degli studi oceanografici, può monitorare la temperatura della superficie del mare, le correnti marine e la salute degli ecosistemi marini. Non meno importante, in caso di disastri naturali come terremoti, inondazioni o incendi, il telerilevamento può fornire una valutazione rapida dei danni e guidare gli interventi di soccorso.

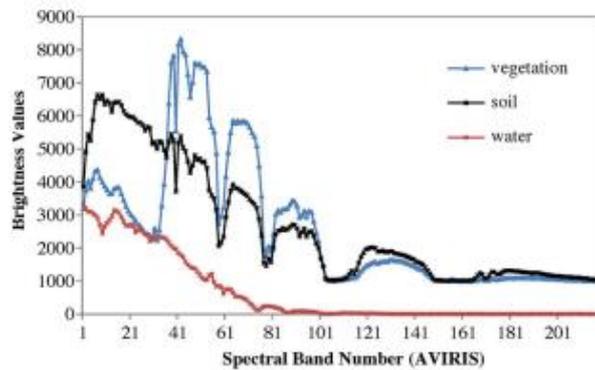
Nel 2015 degli oltre 1100 satelliti che orbitavano intorno alla terra circa il 40% contribuiva a previsioni metereologiche, analisi di difesa, ricerca scientifica e monitoraggio dell'agricoltura (de Araujo Barbosa et al., 2015). Questo dato aiuta a capire come dal lato della disponibilità di dati offerta, le immagini satellitari possano contribuire in maniera decisiva. Le immagini satellitari possono fornire informazioni utili in modo tempestivo ed economico. Tra i vantaggi del *remote sensing* c'è quello di essere una fonte passiva di raccolta dati senza essere laboriosa e dispendiosa in termini di tempo, rispetto ai rilevamenti tradizionali e all'osservazione sul campo che spesso sono costosi. Il tema assume maggiore importanza se si pensa ai paesi in via di sviluppo: secondo i dati della Banca Mondiale, negli anni tra il 2000 e il 2010, 39 dei 59 paesi africani hanno condotto meno di due indagini da cui è stato possibile costruire misure di povertà rappresentative a livello nazionale. Come avviene la raccolta e l'elaborazione dei dati delle immagini satellitari? Qualsiasi energia proveniente dalla superficie terrestre, sia essa la luce solare riflessa o l'energia ascendente dalla Terra stessa a causa della sua stessa temperatura, può essere utilizzata per formare un'immagine. Il processo generale del telerilevamento – elettromagnetico - della superficie terrestre è il seguente:

- a. l'energia del sole si propaga attraverso l'atmosfera terrestre;
- b. l'energia interagisce con le caratteristiche della superficie terrestre; A seconda del tipo di materiale e delle condizioni della superficie, la quantità di energia riflessa, assorbita e trasmessa varierà. Queste differenze e variazioni sono ciò a cui ci affidiamo per essere in grado di distinguere diverse caratteristiche e tipi di copertura del suolo sulla superficie terrestre;

- c. l'energia viene ritrasmessa attraverso l'atmosfera terrestre;
- d. sensori montati su satelliti in orbita attorno alla Terra misurano i livelli di energia emessa e riflessa;
- e. i dati del sensore sono generati e ritrasmessi alla ricezione a terra; e
- f. i dati dei sensori vengono registrati, corretti e trasformati in formati consumabili e prodotti informativi che vengono distribuiti agli utenti finali per l'analisi e il processo decisionale (Lillesand et al., 2015; Richards, 2013; Marley et al., 2014).

I sensori di un satellite possono misurare il livello di riflettanza di diversi tipi di energia elettromagnetica, caratterizzabili dalla loro lunghezza d'onda o dalla gamma di lunghezze d'onda, larghezza di banda, sullo spettro elettromagnetico (Lillesand et al., 2015). Esempi di diversi tipi di energia elettromagnetica includono la luce visibile (in particolare la luce blu, verde e rossa), il vicino infrarosso, il medio infrarosso, l'infrarosso termico (cioè il calore) e la porzione dello spettro a microonde. Riassumendo, il telerilevamento misura la radiazione riflessa e, utilizzando tali misurazioni in modelli avanzati in grado di interpretare l'interazione della luce con la superficie terrestre, è possibile stimare inversamente proprietà della superficie terrestre come il tipo di copertura del suolo o l'indice di area fogliare per ciascun pixel dell'immagine. Altre proprietà di interesse (ad es. uso del suolo; la funzione della terra) possono essere dedotte e mappate inversamente e indirettamente attraverso relazioni contestuali nello spazio. I dati satellitari sono disponibili appunto come immagini, ciascuna delle quali contiene un gran numero di pixel, che sono caratterizzati dall'insieme di misure di riflettanza spettrale catturate dai sensori satellitari. Se viene catturato un numero sufficientemente elevato di misurazioni di larghezza di banda, è possibile ricostruire l'intera curva di riflettanza spettrale, come nella Figura 2.3 tratta dal lavoro di Jia, Kuo e Crawford (2013) dove sono presentati i profili di riflettanza spettrale tipici per vegetazione, acqua e suolo. Date le misurazioni della riflettanza spettrale associate a ciascun pixel, il processo di classificazione è essenzialmente una mappatura di tali misurazioni identificando un particolare tipo di copertura del suolo per la terra rappresentata nel pixel.

Figura 2.3. Esempi di valori spettrali per vegetazione, suolo e acqua raccolti via AVIRIS



Examples of vegetation, soil, and water spectra recorded by AVIRIS

Fonte: Jia, X., Kuo, B. e Crawford, M. (2013), Figura 1, Pag. 677.

Tuttavia, nonostante i suoi numerosi vantaggi, la scienza del telerilevamento comporta anche delle sfide. L'interpretazione dei dati richiede una formazione specialistica. Le condizioni atmosferiche possono influenzare la qualità delle immagini, richiedendo metodi di correzione e analisi avanzati. *L'Australian Bureau of Statistics nel research paper del 2014 dal titolo "Methodological Approaches for Utilising Satellite Imagery to Estimate Official Crop Area Statistics"* nel presentare le caratteristiche del telerilevamento elettromagnetico (*electromagnetic remote sensing*) rileva come una volta che i dati raccolti dal sensore (satellite) vengono ritrasmessi, questi subiscono una serie di correzioni e trasformazioni, molte delle quali matematicamente complesse, per correggere vari errori e distorsioni che si verificano durante il telerilevamento e il processo di misurazione. I dati del sensore possono contenere errori che possono essere classificati in due grandi tipi:

- Errore geometrico: questo tipo di errore deriva dai movimenti relativi del satellite, dei suoi sensori e scanner e della Terra, causando asimmetrie nell'immagine e irregolarità nei sensori, la curvatura della Terra e variazioni incontrollate di posizione, l'altitudine, la velocità e l'assetto del satellite possono portare a distorsioni geometriche dell'immagine di vario grado di gravità;
- Errore radiometrico: questo tipo di errore si riferisce agli errori nei valori di luminosità misurati dei pixel per larghezza di banda spettrale causati dagli effetti dell'atmosfera come mezzo di trasmissione attraverso il quale deve viaggiare l'energia della radiazione riflessa e dagli effetti della strumentazione, come la calibrazione differente tra i sensori (Richards, 2013);

Tutte le tecniche di misurazione sono soggette ad errori ed imperfezioni, anche quelle tradizionali, le immagini satellitari non fanno eccezione. Gli enormi sviluppi degli ultimi anni cercano di intervenire sulla limitazione degli errori sopra elencati così come mirano a garantire una sempre migliore

risoluzione a scale sempre più ridotte. Altro lato cui si interviene per migliorare le performance qualitative della nuova fonte dati è relativo alle tecniche di *machine* e *deep learning* che vengono impiegate per la trasformazione delle informazioni non strutturate in dati strutturati impiegabili nelle analisi finali. I miglioramenti sono relativi a tre fronti: misurazione alla fonte, performance dei classificatori in grado di estrarre informazioni dalle immagini e migliori strumenti per individuare i migliori predittori a seconda della tematica. Altro tema è la disponibilità e la fruizione gratuita o meno delle immagini raccolte. Ad oggi, nel maggiore dei casi, la disponibilità delle immagini fino a 10m di risoluzione spaziale risulta essere fruibile gratuitamente. Al contrario per risoluzioni migliori, in grado di fornire dettagli maggiori, la fruizione è soggetta a pagamenti approssimativamente tra i 3000 e 5000\$ per km². Malgrado queste sfide, il telerilevamento ha rivoluzionato il modo in cui viene osservato e studiato il pianeta.

Tra i filoni accademici in cui l'impiego delle misure ricavate da telerilevamento ha e potrà avere maggior impatto e applicazione c'è quello dell'ecologia, della biodiversità e della conservazione. L'impiego delle immagini satellitari fornisce dati osservazionali a lungo termine e su scala variabile ed estesa, dal dominio locale a quello globale. Inoltre, il divario in termini di risparmio economico e temporale rispetto alle rilevazioni sul campo è nettamente a favore dell'impiego del telerilevamento. I metodi di telerilevamento vengono sempre più utilizzati per monitorare una gamma di proprietà della vegetazione rilevabili a distanza. Esiste una crescente richiesta di integrare esplicitamente i due approcci per la mappatura e il monitoraggio delle condizioni della vegetazione su una gamma di scale. Se da un lato, però, il potenziale applicativo è chiaro, la messa a terra è ben più complicata. Persistono ancora problemi di accesso adeguato ai dati satellitari, incertezze nella continuità delle osservazioni; e limiti temporali e spaziali delle immagini satellitari. Dall'altro, il limite allo sviluppo della tecnica è spesso aggravato dalla mancanza di comunicazione tra l'ecologia e le comunità di telerilevamento. Va aggiunto come poi sia difficile definire concetti come quello di biodiversità e come questa vada misurata. Non si tratta infatti di misurazioni lineari. C'è spesso un tema di uniformità di definizioni. Ad esempio, la misurazione del degrado forestale dallo spazio richiede una definizione concordata di foresta e di ciò che ne costituisce il degrado. (Skdmore e Pettoreli, 2015). Ad oggi, ecologisti ed agenzie spaziali si trovano a dover definire un elenco congiunto di variabili essenziali della biodiversità che possono essere monitorate a distanza. L'elenco da Skdmore e Pettoreli 2015 è mostrato nella figura seguente.

Figura 2.4. Immagine da Copernicus Sentinel-2A delle aree a vegetazione della Sardegna, 2015



Vegetation (red) on Italy's Sardinia, imaged by the European Copernicus Sentinel-2A in 2015.

TRACKING BIODIVERSITY

Ten variables

Proposed variables for satellite monitoring of progress towards the Aichi Biodiversity Targets.

Species populations

- Species occurrence

Species traits

- Plant traits (such as specific leaf area and leaf nitrogen content)

Ecosystem structure

- Ecosystem distribution
- Fragmentation and heterogeneity
- Land cover
- Vegetation height

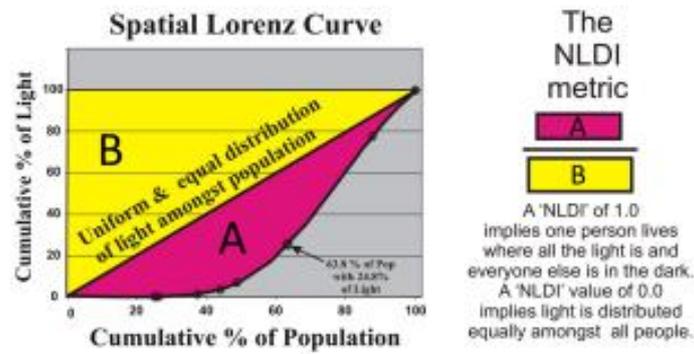
Ecosystem function

- Fire occurrence
- Vegetation phenology (variability)
- Primary productivity and leaf area index
- Inundation

Fonte: Skidmore, Pettorelli et al., (2015). Pag. 405

Rispetto alla dimensione socioeconomica, i principali ambiti di applicazione delle immagini satellitari sono stati quelli legati alla previsione della povertà e del benessere per aree del mondo a basso reddito, dove la mancanza di informazioni da fonti tradizionali è tale anche a scala nazionale oltre che locale. Nel lavoro del 2011 dal titolo *“Using luminosity data as a proxy for economic statistics”* Chen e Nordhaus impiegando le luci notturne arrivano a concludere come sia probabile che l’analisi della luminosità notturna possa costituire una buona proxy della capacità produttiva per i paesi con sistemi statistici di bassa qualità, classificati nelle classi D o E secondo la classificazione della *Penn World Table*, aggiungendo che la stessa lo sia invece in maniera molto limitata per i paesi con valutazione alta della qualità dei sistemi statistici, appartenenti alle classi A, B e C. Tra i lavori che più hanno alimentato il dibattito sull’efficacia dell’impiego delle informazioni ricavate da telerilevamento c’è *“The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data”* di Elvidge et al. del 2012. Gli autori intendono verificare la possibilità di stimare le disparità nella distribuzione del reddito combinando le luci notturne con i dati sulla popolazione all’interno di una nazione.

Figura 2.5. Rappresentazione grafica del coefficiente di Gini.

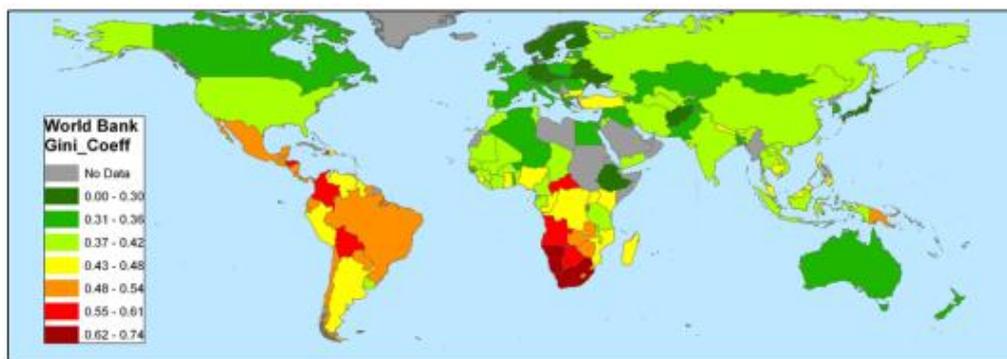


A graphical representation of the Gini coefficient. The coefficient is calculated as the area between the Lorenz curve and the diagonal divided by the area above the diagonal.

Fonte: Elvidge, C. D. et al., (2012). Figura 5, Pag. 25

L'approccio utilizzato per costruire la misura segue per analogia quello della costruzione dell'Indice di Gini sostituendo alla distribuzione del reddito la distribuzione delle luci notturne rispetto alla popolazione. Il *Night Light Development Index* (NLDI) ha quindi un valore compreso tra gli estremi 1 e 0, dove 1 indica che l'1% della popolazione vive in prossimità dei luoghi in cui si concentrano le fonti luminose e il resto della popolazione è al buio, e il valore zero, 0, implica la uguale e uniforme distribuzione della luce tra tutta la popolazione.

Figura 2.6. Mappa dei valori del coefficiente di Gini per nazione, via World bank



Map of national income Gini coefficients reported by the World Bank.

Fonte: Elvidge, C. D. et al., (2012). Fig. 6, Pag. 26

Una volta calcolato l'indicatore, è indagata la correlazione che questo ha con varie misure economiche e sociali a scala nazionale quali: L'indice di Gini (World Bank, 2010), il tasso di elettrificazione (International Energy Agency, 2010), *Human Development Index* (World Bank, 2010), *Human Security Index* (www.humansecurityindex.org), *percent urban* (World Bank), PIL pro

capite (World Bank, 2010), percentuale di popolazione che vive con 2\$ o meno (World Bank, 2010), *Multidimensional Poverty Index* (World Bank, 2010), *Ecological Footprint* (Global Footprint Network, 2010), *Total Primary Energy Consumption per person* (DOE Energy Information Administration, 2010), e il consumo di energia elettrica pro capite (DOE EIA, 2010). Le correlazioni più alte vengono trovate tra il NLDI e *lo Human Development Index* ($R^2 = 0.71$), con il tasso di elettrificazione ($R^2 = 0.69$) con cui il NLDI è inversamente correlato, e il tasso di povertà ($R^2 = 0.64$) con cui la correlazione è positiva. Nessuna correlazione rilevante è riscontrata rispetto all'indice di Gini. Gli autori ne concludono che il NLDI possa considerarsi una forma di indice di sviluppo (Elvidge et al., 2012). Lavori come quelli di Elvidge et al. (2012) e Henderson et al. (2012) hanno portato allo sviluppo di un filone di ricerca sulle potenzialità dell'impiego delle luci notturne per la misurazione di fenomeni socioeconomici. Sono seguiti numerosi lavori volti ad apportare miglioramenti alle misure introdotte (Salvati et al. 2017), o ad indagare nuovi possibili ambiti di impiego delle luci notturne (Mellander et al. 2015). Non sono poi mancate le critiche circa l'efficacia dell'indicatore e della fonte dati rispetto alla scala di analisi e alla finalità proposta (Bickenbach et al. del 2013). Salvati et al. nell'articolo pubblicato nel 2017 su *Ecological Indicators* dal titolo "*An Empirical Assessment of Human Development through remote sensing: Evidences from Italy*" propongono una modifica al NLDI elaborato da Elvidge et al. (2012) così da superare l'inconveniente per cui a scale inferiori a quella nazionale l'indicatore inizialmente proposto poteva assumere lo stesso valore anche per livelli molto diversi di sviluppo umano. La modifica introdotta prevede un coefficiente di penalizzazione in grado di considerare la luminosità media della luce. Gli autori testano l'indicatore modificato e l'originale nei confronti di misure tradizionali di crescita economica, sviluppo sostenibile e sostenibilità ambientale, guardando anche a tre differenti scale spaziali per il territorio italiano. I risultati mostrano come né l'originale NLDI né la versione modificata risultino correlati su scala regionale a misure di crescita economica o di sviluppo locale (*HDI*, *SDI* e *Accessibility Index*). Entrambi gli indicatori e soprattutto la versione modificata del NLDI risultano significativamente correlati con due indicatori ambientali: *il QUARS environmental Index* (Sbilanciamoci!, 2012) e *l'Environmental Sensitive Area Index*, ESAI, (Salvati et al., 2015). La conclusione relativa è che un aumento nel valore del NLDI si riflette in un'elevata qualità ambientale, indipendentemente dal livello di sviluppo umano. Mellander et al. nella ricerca del 2015 dal titolo "*Night-Time Light Data: A Good Proxy Measure for Economic Activity?*" utilizzano una combinazione di analisi di correlazione e regressioni geograficamente ponderate per esaminare per quali misure socioeconomiche la luminosità possa fungere da *proxy* anche ad una scala molto ridotta. I risultati ottenuti portano gli autori a concludere che la luce notturna sia una proxy migliore per la verifica della densità della popolazione e degli edifici potendo quindi considerarsi una misura

indiretta dell'urbanizzazione. Risulta debole la correlazione rispetto alla misura delle attività economiche con specifico riferimento alla determinazione del livello salariale, a sua volta strettamente correlato alla produttività. Tra le critiche sull'efficacia dell'uso delle luci notturne per la stima di misure socioeconomiche c'è quella del lavoro di Bickenbach et al. del 2013 "*Night Lights and Regional GDP*". Gli autori testano la stabilità spaziale dell'elasticità di lungo periodo delle luci notturne tra diverse regioni all'interno di uno stesso paese, sia di basso e medio livello di sviluppo economico (India e Brasile), sia per regioni sviluppate (USA ed Europa occidentale). Il lavoro muove dalle conclusioni di un articolo precedente ad opera di Henderson et al. del 2012 secondo cui laddove i dati sul PIL regionale si dimostrassero carenti, il tasso di crescita dell'intensità delle luci poteva considerarsi un predittore affidabile del tasso di crescita del PIL solamente nel caso in cui l'elasticità del PIL reale (non osservabile) rispetto alle luci fosse risultata stabile tra paesi e regioni. Henderson et al. (2012) propongono di approssimare questa elasticità mediante l'elasticità del PIL osservabile rispetto alle luci. Bickenbach et al. (2013) dimostrano come non esista una relazione stabile tra i dati sulle luci notturne e il PIL regionale nelle economie emergenti. Trovando la stessa instabilità anche per le economie sviluppate, gli autori escludono quindi che la causa dell'instabilità possa essere solamente dovuta alla scarsa qualità di misurazione del PIL nei paesi emergenti. In conseguenza dei risultati ottenuti concludono che i dati sulle luci notturne possono considerarsi indicatori del PIL regionale inadeguati, anche per regioni in cui i dati sul PIL non sono affatto disponibili.

Negli ultimi anni, il campo della visione artificiale ha registrato significativi progressi grazie all'applicazione delle tecniche di *deep learning* su set di dati di immagini su larga scala, con particolare riguardo al rilevamento e alla classificazione di oggetti. Tale avanzamento ha consentito l'utilizzo di immagini satellitari diurne nell'ambito della ricerca scientifica, offrendo l'opportunità di esplorare in modo più approfondito le caratteristiche del paesaggio e la loro correlazione con l'attività economica. Le immagini satellitari ad alta risoluzione, sempre più accessibili e interpretabili, costituiscono una preziosa fonte di informazioni sul territorio e possono offrire spunti interessanti per la comprensione di fenomeni socioeconomici. In questo contesto, si apre un interessante filone di sviluppo che vede l'abbandono dell'analisi delle luci notturne in favore dell'estrazione di informazioni da immagini satellitari diurne ad alta risoluzione, al fine di correlarle con indicatori socioeconomici. Un esempio emblematico dell'efficacia di questa metodologia è rappresentato dal lavoro di Jean et al. (2016), intitolato "*Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty*" e pubblicato sulla rivista scientifica "*Science*". Gli autori hanno applicato tecniche di apprendimento automatico a immagini satellitari diurne ad alta risoluzione, con l'obiettivo di estrarre dati socioeconomici utili per la predizione della povertà in cinque paesi africani. La ricerca ha evidenziato come le luci notturne,

comunemente utilizzate in analisi simili, non consentano di distinguere efficacemente tra zone povere e ricche, densamente o scarsamente popolate. Pertanto, gli autori hanno impiegato un modello di *Convolutional Neural Network (CNN)* pre-addestrato per il riconoscimento e la classificazione degli oggetti, allo scopo di prevedere l'intensità della luce notturna a partire dalle immagini satellitari diurne. L'uso delle luci notturne come variabile intermedia dell'analisi ha consentito al modello di apprendere dalle immagini diurne quelle informazioni maggiormente correlate al benessere economico. I risultati ottenuti hanno dimostrato che il modello implementato è altamente predittivo sia rispetto alla misura della spesa media per i consumi delle famiglie sia per la determinazione della ricchezza a livello di villaggio, superando le prestazioni ottenute con l'analisi delle luci notturne. In sintesi, il lavoro di Jean et al. (2016) sottolinea come sia possibile estrarre informazioni significative dalle immagini satellitari diurne per stimare grandezze economiche nei paesi analizzati. Nel contesto delle recenti indagini volte ad esplorare l'utilizzo delle immagini satellitari ad alta risoluzione per la valutazione del benessere economico nei paesi africani, merita attenzione lo studio condotto nel 2020 da Yeh et al., intitolato "*Using publicly available satellite imagery and deep learning to understand economic well-being in Africa*". Il principale obiettivo della ricerca era quello di sfruttare un vasto spettro di fonti di immagini pubbliche, sia diurne che notturne, per delineare le differenze, sia spaziali che temporali, nel benessere economico a livello locale nell'Africa subsahariana. Tale esplorazione si è rivelata particolarmente rilevante in considerazione della mancanza di dati affidabili per alcuni paesi del continente africano. Gli autori hanno implementato una rete neurale convoluzionale (*CNN*) con lo scopo di prevedere la misura della ricchezza specifica per ogni villaggio e anno, utilizzando come input immagini diurne multispettrali a 30 m/pixel *Landsat* e immagini di luci notturne a una risoluzione inferiore a 1 km/pixel. A differenza della metodologia adottata dal lavoro citato in precedenza (Jean et al., 2016), che utilizzava l'intensità della luce notturna come variabile intermedia per addestrare una *CNN* sulle immagini diurne, questo studio ha integrato entrambi i set di immagini all'interno di un modello unico di *deep learning*. In tal modo, il modello è stato in grado di apprendere in modo autonomo le caratteristiche rilevanti delle immagini diurne e notturne per la predizione della ricchezza, senza necessità di predefinire quali fossero le caratteristiche da cercare. In termini di prestazioni predittive spaziali, il modello proposto da Yeh et al. ha evidenziato una capacità significativa nel distinguere i livelli di ricchezza non solo tra i diversi paesi, ma anche all'interno di ciascuno di essi. Le reti neurali *CNN* addestrate esclusivamente su luci notturne (*NL*) o su immagini diurne multispettrali (*MS*) hanno mostrato performance simili tra loro e con il modello combinato (*MS+NL*). Questo risultato suggerisce che i due set di dati possano contenere informazioni simili, almeno per quanto concerne l'obiettivo di prevedere le variazioni spaziali della ricchezza in Africa. Per quanto riguarda le performance temporali, gli autori hanno rilevato che queste non sono all'altezza

di quelle spaziali. Inoltre, è emerso come i modelli basati esclusivamente sull'analisi delle luci notturne abbiano ottenuto risultati significativamente inferiori rispetto a quelli che utilizzano immagini diurne multispettrali. Questa constatazione suggerisce che, almeno per il contesto africano, le immagini diurne multispettrali possano offrire una fonte di informazioni più ricca e pertinente rispetto alle luci notturne per la valutazione del benessere economico a livello locale.

2.4 OPENSTREETMAP

Nell'ultimo decennio sono stati compiuti enormi progressi nella capacità di acquisizione di dati geospaziali. A differenza del passato, dove i dati erano raccolti principalmente da agenzie statistiche e di rilevamento territoriale governative, oggi si assiste sempre più spesso alla fornitura volontaria di dati da parte dei cittadini stessi. Questo fenomeno è stato descritto con il termine "Informazioni geografiche volontarie" (VGI, *Volunteered Geographical Information*), e sottolinea il passaggio da consumatori passivi a produttori attivi di informazioni geospaziali da parte degli utenti, spesso non professionali (Mooney e Minghini, 2017). Il progetto OpenStreetMap (OSM) è un esempio paradigmatico di VGI. Fondato nel 2004 da Steve Coast, OSM rappresenta un caso simile a quello di Wikipedia, dove le informazioni sono fornite e modificate dagli utenti stessi. Il progetto si basa sulla creazione di una mappa *open source* e modificabile, costruita principalmente attraverso il contributo di dati geospaziali forniti dagli utenti, che possono utilizzare tracce di dati GPS, immagini aeree o altre fonti. A gennaio 2022, il *wiki* di OSM (<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Stats>) riportava un numero di 8.3 milioni di utenti registrati. Tutti i dati di OpenStreetMap possono essere scaricati gratuitamente, vengono aggiornati con continuità e hanno copertura globale. L'idea originaria di Coast era semplice: mettere in condizione qualsiasi utente di raccogliere informazioni spaziali e geografiche in una zona della quale ha un'ottima conoscenza. Se più utenti svolgono la stessa operazione per molteplici zone differenti allora i dati raccolti possono essere combinati contribuendo così alla creazione di una banca dati. Estendere il processo ad un numero ancor più elevato di contributori distribuiti globalmente avrebbe permesso di produrre una mappatura completa del pianeta attraverso il contributo degli utenti. Nonostante i numerosi vantaggi, esistono alcune preoccupazioni legate alla qualità dei dati di OSM e VGI. La natura stessa delle informazioni geospaziali generate dagli utenti rende necessario valutare con attenzione l'idoneità e l'adeguatezza all'uso dei dati OSM (Barron, Neis e Zipf, 2014). Studi citati in Barron, Neis, e Zipf (2014) sottolineano la natura profondamente diversa tra diversi gruppi di contributori ad OpenStreetMap in termini di rilevamenti apportati. Analizzando l'attività complessiva dei contributori all'interno del progetto OSM è stato evidenziato un forte pregiudizio nel processo di partecipazione (Neis e Zipf,

2012). È stato evidenziato come solo il 38% di tutti i membri registrati abbia mai realizzato almeno una modifica e solo il 5% di tutti i membri ha contribuito in modo ritenuto significativo. Questa distribuzione nel comportamento contributivo è strettamente legata al fenomeno noto come “*Participation Inequality*” nelle comunità online (Nielsen, 2006). La disuguaglianza di partecipazione tende a seguire uno schema “90-9-1” ed è osservata in diverse comunità che si basano sui contributi dei loro membri. All'interno di questi sistemi, secondo il modello, il 90% di tutti gli utenti consumerebbe esclusivamente informazioni senza parteciparne alla creazione, il 9% contribuirebbe di tanto in tanto e solamente l'1% sarebbe effettivamente responsabile della maggior parte dei contenuti.

In OSM gli elementi geografici sono rilevati secondo tre tipi di dati o oggetti primitivi: nodi, vie (poligoni e polilinee) e relazioni (raccolte logiche di vie e nodi). All'interno di OSM, ogni oggetto deve avere almeno un attributo o tag (una coppia chiave/valore) assegnato per descriverne le caratteristiche. I nodi che hanno un tag con un nome chiave sono generalmente chiamati Punti di Interesse (POI). La registrazione in qualità di utenti è gratuita e libera, chiunque può iscriversi e i contributori sono liberi di creare i propri tag. Esistono dei documenti di riferimento per l'assegnazione delle tag, tra tutti le pagine OSM Map Features sul wiki OSM (<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Features>). Nonostante la documentazione di riferimento, esiste il rischio che emerga confusione circa il tag specifico da assegnare ad un POI viste le diverse valutazioni condotte dai contributori. Nel campo della geoinformazione, per la valutazione della qualità, possono essere presi in considerazione i principi dell'“Organizzazione internazionale per la standardizzazione” (ISO). La norma ISO 19113 descrive i principi generali della qualità dei geodati e la ISO 19114 contiene procedure per la valutazione della qualità dei set di dati geografici digitali. La qualità dei dati spaziali può essere valutata con l'aiuto dei seguenti elementi della ISO 19113:

- Completezza: descrive quanto è completo un set di dati. Un'eccedenza di dati viene definita "*Error of Commission*", una mancanza di dati in contrasto come "*Error of Omission*";
- Coerenza logica: dichiara l'esattezza delle relazioni manifestate all'interno di un dataset. Questo elemento può essere ulteriormente suddiviso in “coerenza intra-tematica” e “coerenza inter-tematica”;
- Precisione di posizione: definisce la precisione relativa e assoluta dei valori delle coordinate
- Accuratezza temporale: l'evoluzione storica del dataset;
- Accuratezza tematica: descrive la precisione degli attributi assegnati a una geometria;

A questi elementi si aggiunge quello relativo alla “idoneità di scopo”, ovvero la valutazione secondo cui la qualità dei dati OSM dipenda fortemente dallo scopo per cui i dati saranno impiegati (Barron, Neis e Zipf, 2014). I lavori condotti rispetto alla valutazione della *data quality* dei dati OSM possono essere classificati in due categorie. Si parla di analisi estrinseche per lo sviluppo della qualità dei dati OSM nel confronto con dataset di riferimento ufficiali. Al contrario, si parla di analisi intrinseca se la stima della qualità dei dati OSM è condotta rispetto agli stessi, facendo quindi riferimento per esempio alla loro evoluzione storica. La scelta tra l’uno o l’altro metodo di valutazione, spesso è guidata dall’esistenza e disponibilità concreta, anche rispetto ai costi, di dati statistici tradizionali ufficiali con cui effettuare il confronto.

Tra i lavori classificabili come analisi estrinseche figura anche quello di Forghani e Delavar dal titolo “*A Quality Study of the OpenStreetMap Dataset for Tehran*” del 2014 pubblicato sull’*International Journal of Geo-Information*, in cui la stima della qualità dei dati OSM avviene attraverso il confronto con la mappa di riferimento prodotta dal Comune di Teheran, capitale dell’Iran. La metodologia seguita nell’articolo si articola in più fasi. Dopo la divisione del set di dati in griglie così da favorire il confronto, per ciascuna cella creata vengono valutate quattro misure per la verifica della qualità dei dati:

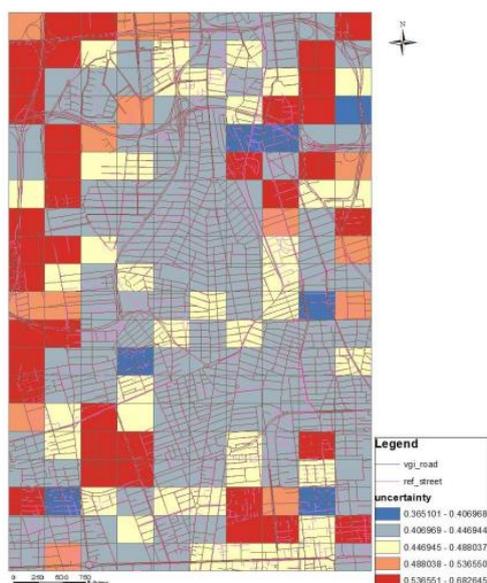
- La completezza della rete stradale determinata calcolando la lunghezza totale delle strade in uno dei dataset OSM all'interno di un'area e quindi confrontandola con quella della mappa di riferimento all'interno della stessa area. Una differenza nella lunghezza complessiva indica incoerenza tra i due set di dati.
- *Minimum Bounding Geometry*. Calcolando il minimo poligono convesso in grado di racchiudere la rete stradale per ogni area di analisi e confrontando le aree dei poligoni tra le aree OSM e le rispettive nella carta di riferimento. Maggiore diversità tra le aree calcolate indica una maggiore incoerenza tra i due set di dati.
- *Directional Distribution (Standard Deviational Ellipse)* Distribuzione direzionale (ellisse di deviazione standard). La metrica di distribuzione direzionale riassume le caratteristiche spaziali delle caratteristiche geospaziali come la tendenza centrale, la dispersione e le tendenze direzionali. Pertanto, se si ottengono le ellissi di deviazione standard per ciascuna griglia dei due set di dati e se ne confrontano le direzioni, è possibile valutare la compatibilità dei due set di dati.
- *Median Center*. Il centro mediano di una cella implica la posizione che riduce al minimo la distanza euclidea complessiva dalle caratteristiche contenute in quella cella. Pertanto, la

distanza dei centri mediani dei due set di dati in ciascuna cella della griglia può essere considerata una metrica per il loro confronto.

Le misure calcolate vengono poi aggregate attraverso un processo di fuzzificazione per esprimere un valore unico compreso tra 0 (dato non certo) e 1 (dato di alta qualità e certo) in grado di esprimere l'incertezza legata alla qualità del dato OSM. Gli autori affermano sulla base dei risultati numerici ottenuti, con valori di incertezza valutata per ciascuna delle celle della griglia dell'area di studio con valori che vanno da un minimo di 0,36 ad un massimo di 68, che non esistono aree con dati di alta qualità ma nemmeno aree con dati di qualità molto bassa. L'area di studio è generalmente composta da celle con dati di qualità media (circa l'80% dell'area di studio).

Figura 2.7. Mappa dei valori di incertezza del dataset OSM rispetto a quello della mappa di riferimento per la città di Teheran

Evaluated uncertainty of the OSM dataset in comparison with that of the reference map on a tile-by-tile basis.



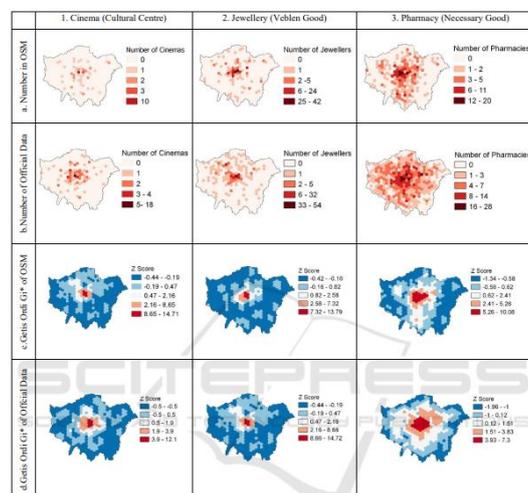
Fonte: Forghani, M., e Delavar, M. R., (2014). Fig.11, Pag.760.

Gli autori concludono evidenziando come principale criticità nella qualità del dataset OSM l'eterogeneità dei dati in termini di completezza rispetto a quella della mappa di riferimento. Tale eterogeneità porta all'incoerenza tra il set di dati OSM e i dati di base. Affermano quindi che, sebbene i dati OSM siano molto efficienti in termini di costi, la loro affidabilità e applicabilità come alternativa ai set di dati commerciali dipendono in gran parte dalla loro effettiva applicazione. Ciò significa che,

per quanto riguarda la precisione richiesta dei dati spaziali e in base all'area di interesse, si può decidere se i dati OSM possono essere utili o meno (Forghani e Delavar, 2014).

Alla stessa classe di lavori appartiene lo studio “*Urban Consumption Patterns: OpenStreetMap Quality for Social Science Research*” di Rabiei-Dastjerdi et al. presentato nell’ambito della 6ª Conferenza Internazionale sulla Teoria dei Sistemi Informativi Geografici nel Maggio 2020. Nel lavoro viene considerata la possibilità per cui i dati OSM possano essere utilizzati come alternativa ai dati ufficiali per misurare o mappare la variazione spaziale della disuguaglianza di consumo nei beni e nelle strutture urbane. Lo studio considera l’area della città metropolitana di Londra (“*Greater London*”), considerandola area di studio ideale per verificare la domanda di ricerca per vastità e ipotizzando l’alto numero di contribuzioni in ambito OSM. Per verificare la possibilità di impiego dei dati OSM come alternativa ai dati ufficiali va certificata la veridicità e completezza dei dati. Senza un grado minimo accettabile di completezza dei dati non è possibile misurare alcun tipo di disuguaglianza (spaziale) nello spazio considerato. Viene quindi indagata la differenza tra il numero di entità di ciascun ambito considerato nei dati ufficiali e i dati OSM selezionati per misurare la disuguaglianza di consumo.

Figura 2.8. Mappa di copertura spaziale di cinema, gioiellerie e farmacie in OSM e dataset ufficiali per l’area della Greater London



Spatial Coverages and Patterns of Cinema, Jewelry Shops, and Pharmacy in OSM and Official Dataset. (Figure a) Intensity of red color shows the number of points in each hexagon (Figure a and Figure b). Dark red color shows hotspots and dark blue is coldspots (Figure c and Figure d) or Getis Ord Gi* based on Z Score.

Fonte: Rabiei-Dastjerdi, McArdle, e Ballatore, (2020). Fig.1, Pag. 282

Viene verificato come per tutti gli ambiti i dati OSM presentano un numero di punti rilevati inferiore rispetto ai dati ufficiali, sebbene i dati ufficiali vengano generalmente aggiornati lentamente e poco. In particolare, guardando alle rilevazioni di concentrazione dei dati risulta come i redattori e i contributori di OSM concentrino le rilevazioni sul centro di Londra, dove è maggiore l’attività della

popolazione e gli spazi di consumo, mentre le altre aree vengono maggiormente ignorate. Gli autori ne concludono che esiste un'incoerenza tra la copertura geografica di OSM e i dati ufficiali, dichiarando i dati OSM come non rappresentativi della distribuzione veritiera dei dati (Rabiei-Dastjerdi et al., 2020).

Il lavoro di Bustamante et al. (2021) “*On the Representativeness of OpenStreetMap for the Evaluation of Country Tourism Competitiveness*” analizza la rappresentatività dei dati OSM rispetto alle misure tradizionali descrittive della competitività turistica internazionale dei paesi. Nello studio vengono selezionati otto parametri indicativi dello sviluppo turistico di ogni Paese, come il numero di posti letto o siti culturali, dal rapporto annuale del *World Economic Forum* (WEF) “*Travel & Tourism Competitiveness Report*”. Contemporaneamente vengono estratti gli oggetti OSM ritenuti in maniera esperta rappresentativi di questi indicatori. Viene poi eseguita un'analisi statistica e delle regressioni tra i dati OSM raccolti rispetto ai valori emessi dal rapporto del WEF. Il loro obiettivo è analizzare la rappresentatività dei dati OSM rispetto ai report ufficiali sulla competitività turistica per capire se i dati OSM possano essere utilizzati a complemento delle informazioni ufficiali o, in alcuni casi, quando le informazioni ufficiali sono scarse o inesistenti, per valutare se le informazioni OSM possano esserne un sostituto. I risultati mostrano che i dati OSM forniscono un quadro abbastanza accurato delle statistiche ufficiali del turismo per la maggior parte delle variabili. L'analisi statistica e di regressione considera otto diversi indicatori turistici target con un campione di 133 paesi analizzato secondo due direttrici: la prima considerando tutti i paesi insieme e la seconda suddividendo i paesi in tre gruppi in base al loro livello di *Information and Communication Technologies* (ICT). La ragione di questa doppia analisi è che lo stato dei servizi ICT di un paese potrebbe determinare la qualità dell'informazione OSM in quanto *Informazione Geografica Volontaria* (VGI). Gli autori concludono come, seppur con criticità locali e adattando a ciascun target un modello specifico, l'analisi mostra che i contenuti OSM generati dagli utenti sono in buona parte adeguati a delineare un'immagine dell'industria del turismo a livello nazionale (Bustamante et al., 2021). Nella categoria delle analisi estrinseche rientra anche il lavoro di Salvucci e Salvati (2021) dal titolo “*Official Statistics, Building Censuses, and OpenStreetMap Completeness in Italy*”. Lo studio fornisce un quadro di verifica del grado di copertura e completezza delle mappe insediative derivate dal database OSM a scala nazionale, per un possibile utilizzo nelle statistiche ufficiali. Come riferimento per il confronto è considerato l'archivio *Buildings Open Data Archive*. Tale archivio che raccoglie dati aperti sugli edifici italiani integra diverse fonti cartografiche: (i) le fonti amministrative dei dati derivanti dai servizi cartografici e da altri uffici tecnici di regioni, province, comuni e altri enti, la maggior parte dei quali aderenti al Sistema statistico nazionale (SISTAN); (ii) il GeoPortale

Nazionale d'Italia; (iii) singole fonti di dati e strati geografici prodotti direttamente dalla Protezione Civile Italiana. Il confronto è stato condotto rispetto a tre indicatori/misure: (i) numero di edifici contenuti in OSM rispetto al numero di edifici presenti nell'archivio BODA all'interno della stessa regione; (ii) superficie totale (m2) degli edifici nel database OSM rispetto alla superficie totale (m2) degli edifici in BODA all'interno della stessa regione e (iii) l'indicatore che quantifica il tasso di copertura OSM-BODA. Nell'analisi di Salvucci e Salvati (2021) viene anche considerata l'esistenza di una diversa copertura tra le aree urbane e quelle rurali.

Tabella 2.4. Rapporto di copertura OSM-to-BODA per le regioni italiane per le aree rurali e urbani

OSM-to-BODA coverage ratio (calculated separately for the total number of buildings and the total surface area of buildings) by Italian region and urban/rural district.

Region	Total Number of Buildings			Surface Area of Buildings		
	Urban	Rural	Total	Urban	Rural	Total
Piedmont	78.79	63.81	72.10	63.34	58.01	61.34
Aosta Valley	93.07	87.35	90.21	84.71	88.90	86.33
Lombardy	44.08	34.40	41.94	69.98	56.88	66.99
Trentino Alto Adige	74.41	62.14	69.00	45.72	32.29	40.10
Veneto	101.69	104.52	102.59	105.34	116.50	108.56
Friuli Venezia Giulia	23.97	33.33	25.66	36.41	45.39	38.30
Liguria	94.37	99.09	95.87	101.28	87.39	98.22
Emilia Romagna	61.92	55.80	59.35	99.11	86.04	94.13
Tuscany	65.04	64.55	64.88	104.95	99.04	103.18
Umbria	24.60	16.79	20.94	53.56	36.58	46.87
Marche	36.38	21.40	28.14	40.19	31.65	36.58
Lazio	52.20	21.57	37.65	81.70	40.06	62.84
Abruzzo	33.47	11.14	22.59	53.87	35.73	47.18
Molise	53.36	22.49	33.45	53.11	44.79	48.93
Campania	50.52	12.28	32.27	63.89	18.53	44.90
Apulia	137.52	97.55	111.77	129.80	126.80	128.68
Basilicata	54.32	32.85	40.13	66.45	57.65	61.99
Calabria	27.60	7.72	17.71	31.16	23.45	28.71
Sicily	64.48	12.24	36.16	45.88	11.14	26.59
Sardinia	97.03	79.13	87.83	101.53	120.71	107.53
Italy	59.47	46.59	54.35	73.33	54.29	66.49

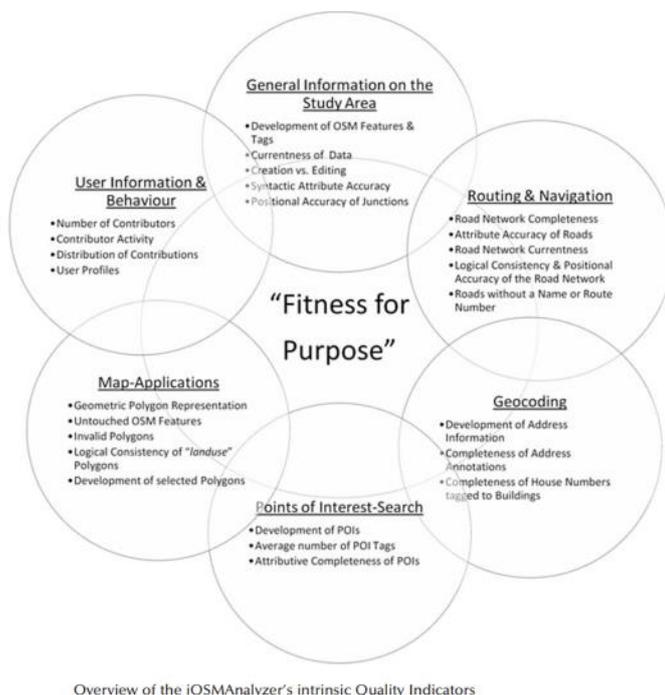
Fonte: Salvucci, & Salvati, (2021), Tabella 3, Pag. 9.

Lo studio evidenzia una elevata eterogeneità a livello di regioni nel livello di copertura OSM rispetto al dataset di riferimento. Viene poi confermata l'evidenza per cui le aree urbane godono in generale di una migliore copertura rispetto a quelle rurali. Pur riconoscendo il potenziale del database OSM per le statistiche ufficiali, il lavoro sottolinea l'urgente necessità di un'analisi aggiuntiva (spazialmente esplicita) che superi l'eterogeneità dei dati e la copertura non ottimale della fonte di informazioni OSM (Salvucci & Salvati, 2021).

Nella maggior parte dei casi i dati vengono confrontati con set di dati commerciali o amministrativi. Tuttavia, non sempre questa tipologia di dati risulta disponibile o a causa della effettiva assenza, o per la presenza di restrizioni di licenza o di elevati costi di approvvigionamento. In tutti questi casi al fine di valutare la qualità dei dati OSM rispetto all'ambito ricerca occorre procedere con un'analisi di tipo intrinseco. Barron, Neis, e Zipf (2014) nel lavoro "*A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis*" propongono un framework contenente più di 25 metodi e indicatori, per consentire la valutazione della qualità OSM basandosi esclusivamente sulla evoluzione temporale

dei dati. Occorre poi considerare le numerose e diverse finalità di impiego che gli stessi dati OSM possono avere. Le valutazioni di *data quality* devono tenerne conto ed occorre adattarle ai diversi casi d'uso ed esigenze specifiche. Gli autori individuano diverse categorie di finalità d'uso e selezionano per ciascuno, secondo l'approccio “*Fitness for Purpose*”, le misure di *data quality* di riferimento specifico. L'idoneità dei dati VGI dipende sempre dal caso e deve essere analizzata individualmente. Complessivamente, nel quadro viene considerata una serie di oltre 25 diversi indicatori di qualità intrinseca, come riportato nella figura di seguito (Barron, Neis, e Zipf, 2014).

Figura 2.9. Overview degli indicatori di qualità per le valutazioni intrinseche dei dati OSM



Fonte: Barron, Neis, e Zipf, (2014). Fig.1, Pag. 883

Approfondendo l'ambito della ricerca dei Punti di Interesse (*Point of Interest* – POI), tra le misure di valutazione della qualità viene menzionato lo sviluppo della mappatura dei POI. Lo sviluppo quantitativo di POI appropriati può fungere da primo indicatore quantitativo. In generale, un numero crescente di POI è un indicatore positivo, poiché il set di dati è in fase di completamento. Oltre al numero effettivo di POI, la loro caratterizzazione dettagliata per mezzo di attributi ha un impatto sulla qualità della caratteristica. Oltre allo sviluppo quantitativo e al numero medio di attributi, la sostanziale differenziazione all'interno degli attributi dei POI consente affermazioni sulla completezza relativa degli attributi e quindi sulla relativa accuratezza tematica. A questo scopo è adatto un elenco di chiavi rilevanti selezionate dal *wiki* OSM che descrivono più dettagliatamente le

caratteristiche dei diversi gruppi di POI. L'elenco composto dalle chiavi (es. nome, orari apertura, operatore, sito web, addr:numero civico, telefono) viene adattato al singolo caso, in quanto non tutti i gruppi di POI devono necessariamente essere annotati. Lo sviluppo della percentuale di completezza relativa è una misura intrinseca della completezza degli attributi, che indica quanto ciascun gruppo di POI si adatti ai casi d'uso (Keßler e de Groot, 2013). Un altro lavoro per la valutazione della data quality in maniera intrinseca è quello di Almendros-Jiménez, e Becerra-Terón (2018) dal titolo “*Analyzing the Tagging Quality of the Spanish OpenStreetMap*”. In questo documento viene presentato un *framework* per la valutazione della qualità di OSM, comprendente dei metodi per analizzare la qualità con la quale vengono attribuiti alle entità specifici *tag*. L'approccio analizza misure di qualità come completezza, conformità, coerenza, granularità, ricchezza e fiducia. Il framework è stato utilizzato per analizzare la qualità di OSM in Spagna, confrontandolo con le principali città del paese. Inoltre, è stato effettuato un confronto tra località spagnole e alcune delle principali città europee. Dal lavoro condotto è stato poi sviluppato anche uno strumento Web per facilitare lo stesso tipo di analisi in qualsiasi area del mondo con gli stessi indicatori di qualità proposti nel *framework*. Questo strumento consente di selezionare dal menù una determinata area del pianeta OSM e di eseguire ogni tipo di analisi (Almendros-Jiménez e Becerra-Terón, 2018).

2.5 APPLICAZIONI DEI DATI OPENSTREETMAP ALLA RICERCA SOCIOECONOMICA

Nonostante i risultati contrastanti circa la qualità dei dati OSM, gli accademici ne hanno avviato l'esplorazione e indagato la correlazione rispetto alle misure socioeconomiche. Le amministrazioni locali necessitano di misure per valutare lo stato della resilienza urbana e valutare gli effetti delle politiche. Dati a riguardo spesso o non sono disponibili, o quando lo sono, risultano essere costosi, differiscono come frequenza temporale o sono prodotti in formati differenti rendendo difficile l'implementazione di metodi di valutazione standardizzati. Le tecnologie VGI, come il progetto OSM, potrebbero aiutare a superare questi ostacoli. Sebbene, come visto, la copertura spaziale e la densità delle informazioni varino in modo significativo tra le diverse aree, molte regioni, specialmente nell'Europa centrale, nell'intorno alle aree popolate, hanno un'elevata copertura spaziale e potrebbero già contenere informazioni sufficienti per la creazione di indicatori sui dati OSM da impiegare magari in assenza di misure “tradizionali”. Tra i lavori in questo campo c'è quello di Feldmeyer, Meisch, Sauter e Birkmann (2020) “*Using OpenStreetMap data and machine learning to generate socio-economic Indicators*”. Gli autori usano tecniche di *machine learning* (RF, DNN) al fine di predire

quattro indicatori socioeconomici a livello comunale utilizzando dati reperiti da OSM. L'ipotesi del lavoro è che ci siano *proxies* per le misure socioeconomiche tra i geodati OSM. I quattro indicatori su cui viene testata l'ipotesi sono il numero di residenti, il tasso di disoccupazione, la proporzione di popolazione over 65 sul totale e il saldo tra emigrati e immigrati. Dopo aver scaricato l'intero dataset OSM per la regione tedesca del Baden-Württemberg, contenente 60 tra le principali *keys* OSM, per ogni area comunale, sono state conteggiate e sommate le diverse geometrie OSM per ciascuna *key*. È stato così ottenuto un dataset di 1100 righe, una per ogni municipalità, con nelle colonne le diverse coppie *key-value* OSM per ciascuna geometria considerata (punto, linea, poligono). Sono state conservate nel dataset solamente le tag che comparivano in cento o più municipalità. I dataset sono stati poi divisi casualmente in un 50% come test e 50% per allenare i modelli predittivi. Al fine di aggiustare le variabili per il fattore dimensionale dei comuni i predittori sono stati rapportati su scala per mille abitanti. Il dataset di training è stato poi standardizzato e su di esso è stata condotta un'analisi per componenti principali (PCA). L'obiettivo della PCA è ridurre la dimensionalità dei regressori e creare un insieme di nuove variabili non correlate tra loro combinazione dei regressori di input. Sono state poi condotte le analisi di previsione con i diversi modelli: Regressione Lineare (RL), *Random Forest* (RF) e *Deep Neural Network* (DNN). Ai fini della valutazione è stata utilizzata come misura di performance il *Mean Absolute Error* (MAE). I risultati mostrano come il DNN ottenga performance migliori rispetto a tutti gli indicatori indagati. Di poco inferiori sono state le performance della RF che però ha la qualità di essere più facilmente interpretabile nel processo seguito di ottenimento dell'output. In generale sono emerse difficoltà nella previsione e gestione dei valori estremi, così come resta di primaria importanza la tematica dell'affidabilità generale dei dati OSM visto lo sbilanciamento contributivo di cui soffre la base dati OSM. Gli autori concludono sottolineando come OSM possa essere una valida fonte di informazioni, essendo manifestazione delle attività umane in un territorio, per monitorare e comprendere con prime evidenze gli andamenti delle principali misure socioeconomiche (Feldmeyer et al., 2020).

Altro lavoro ad aver ispirato questo lavoro di tesi è quello di Wojcik e Andruszek (2022) dal titolo "*Predicting Intra-Urban Well-Being from Space with Nonlinear Machine Learning*". Nell'articolo gli autori verificano la possibilità che tecniche predittive non lineari conducano a previsioni più accurate del benessere a livello intra-cittadino. Tra i dati viene testata la capacità predittiva di grandezze OSM rispetto ad altre ottenute da immagini satellitari ad alta risoluzione. Nello specifico vengono testate quattro algoritmi non lineari rispetto alla regressione lineare di tipo LASSO usata come *benchmark* per i 18 distretti della città di Varsavia. Per prima cosa gli autori misurano il benessere a livello intra-cittadino costruendo un indicatore a partire da diverse fonti statistiche ufficiali sulla falsariga del

Local Human Development Index. Il *Well-Being Index*, così chiamato, consta di tre componenti: *Health Index*, *L'Education Index* e il *Welfare Index*. L'indicatore finale è la media armonica di ciascuna delle tre componenti all'interno del quale il welfare index pesa la metà essendo ottenuto da una proxy imperfetta. Successivamente usando i dati dei vari POI da OSM e le grandezze estratte dalle immagini satellitari da Google Maps vengono applicate le diverse tecniche di machine learning per predire il livello di benessere rispetto all'indicatore costruito. Le caratteristiche estratte dalle immagini satellitari sono due: il numero e l'area degli edifici e l'area delle superfici naturali. I restanti predittori potenziali sono raccolti da OpenStreetMap, tra questi, dati su edifici, strade di vario tipo, fiumi e laghi, aree verdi, fermate dei mezzi pubblici (tram, autobus, metropolitana, treno), stazioni di noleggio biciclette, distributori di carburante, supermercati e centri commerciali. I dati raccolti dalle immagini satellitari e da OSM sono stati aggregati a livello di distretto, e sono state ottenute le seguenti caratteristiche utilizzate quindi nei modelli predittivi: il numero e la superficie degli edifici, il numero delle fermate dei mezzi pubblici (separatamente per autobus, tram, treno, metropolitana), il numero delle stazioni di bike sharing pubbliche, il numero delle stazioni di servizio, la lunghezza delle strade (tronchi, primari, secondari, terziari, residenziali e non classificati), l'area verde (parchi, foreste), l'area acquatica (fiume, laghi) e il numero di centri commerciali e supermercati. Il valore di ciascuna caratteristica a livello distrettuale è stato diviso per l'area del distretto per ottenere indicatori di densità comparabili. I risultati migliori in termini di accuratezza arrivano dall'applicazione del modello *Support Vector Regression* (SVR). Ad essere predette con maggiore accuratezza sono le grandezze del *Well-Being Index* riferite alla salute e all'educazione. I risultati indicano che la sostituzione dei dati OSM selezionati con i loro equivalenti basati su immagini satellitari non offre un enorme vantaggio. Pertanto, gli autori concludono che le caratteristiche estratte da OpenStreetMap sono altrettanto buoni predittori del benessere all'interno della città come le caratteristiche estratte da immagini diurne ad alta risoluzione (Wójcik e Andruszek, 2022).

Il lavoro presentato in questo capitolo esplora l'uso dei dati OSM per valutare il benessere a livello locale. Il concetto di benessere si riferisce a una visione multidimensionale ed estesa, intesa a catturare anche aspetti non monetari della qualità della vita degli individui. Come già riportato nei paragrafi precedenti esiste oggi un ampio consenso tra accademici e decisori politici sul fatto che per comprendere adeguatamente il benessere e la sua complessità sia necessario andare oltre il PIL e adottare un quadro più ampio che consideri diverse componenti, tutte legate a ciò che conta per le persone (Stiglitz et al., 2009).

La maggior parte degli indicatori di benessere fa tradizionalmente riferimento alla scala nazionale, rendendo possibile il confronto tra paesi. Più recentemente, organizzazioni internazionali e governi

nazionali hanno accettato la sfida di andare oltre il PIL anche a livello subnazionale. In particolare, nell'ultimo decennio, l'Indice di Sviluppo Umano (ISU) e altri indicatori di benessere multidimensionali hanno iniziato ad essere applicati a livello regionale e locale in alcuni paesi europei, come in Polonia (ad esempio, UNDP, 2012; Pomianek e Chrzanowska, 2016) e in Italia. Nel nostro paese è stata anche sviluppata una misura di benessere locale nell'ambito dell'iniziativa denominata Benessere Equo e Sostenibile (BES) lanciata nel 2010 dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) italiano. Nel 2013 l'ISTAT ha iniziato a misurare aspetti multidimensionali del benessere a scala subnazionale, come a livello regionale (NUTS-2), provinciale (NUTS-3) e anche per alcune aree metropolitane. A livello europeo uno studio basato su un ISU regionalizzato per tutte le regioni NUTS-2 dell'Unione Europea (UE), fornisce una panoramica della geografia delle disparità dell'UE in termini di benessere piuttosto che semplicemente in termini di PIL (Hardeman e Dijkstra, 2014). Occorre ribadire come la disponibilità dei dati sia una questione centrale nell'indagine sul benessere a livelli sub-regionali. In molti casi, i dati sono obsoleti o, più frequentemente, indisponibili. In queste circostanze, l'uso di fonti di dati alternative potrebbe superare queste limitazioni. Come presentato, nella letteratura economica, sono diverse le applicazioni di dati provenienti da immagini satellitari come l'Indice di Sviluppo della Luce Notturna (NLDI) o sistemi di Informazione Geografica Volontaria (VGI).

I dati OpenStreetMap (OSM) possono rappresentare un'alternativa valida alle immagini satellitari nella valutazione del benessere a livello locale, anche tenendo in considerazione le questioni relative alla loro *data quality*. L'uso dei dati OSM per valutare il benessere si fonda sull'idea che le informazioni estraibili riguardino la manifestazione delle attività socioeconomiche della popolazione sul territorio. L'ambiente fisico, la disponibilità e l'accessibilità ai servizi hanno un impatto diretto sulla qualità della vita delle persone. Se da un lato persistono perplessità sulla effettiva completezza e precisione dei contributi alla mappa OpenStreetMap, dall'altra la contribuzione aperta e gratuita offre il vantaggio di disporre di dati aggiornati frequentemente che possono essere personalizzati per le specifiche esigenze di analisi, consentendo anche una valutazione accurata e tempestiva del benessere a livello locale. Questo può essere particolarmente utile in contesti in cui i dati tradizionali potrebbero non essere facilmente disponibili o aggiornati come spesso avviene per le scale granularità territoriale più elevata. Per un paese come l'Italia con una lunga tradizione di disparità regionali, è di grande interesse lo sviluppo di tecniche di valutazione del benessere attraverso l'uso di dati basati sulla localizzazione ad alta frequenza per misurare comportamenti individuali rilevanti come la sicurezza stradale, la mobilità umana e la prossimità ai servizi all'interno delle città. In particolare, la maggior parte dei lavori finora è stata indirizzata alla verifica della qualità dei dati, in riferimento alla

numerosità degli edifici (ad esempio, Brovelli et al., 2016; Franzini et al., 2020; Salvucci e Salvati, 2022), per scopi di sicurezza (Broccoli e Bruzzone, 2018), per studiare modelli di mobilità (Ubaldi, 2021) o per misurare il grado di prossimità locale ai servizi a piedi, secondo i principi della città dei 15 minuti (Olivari et al., 2023). Alcuni lavori hanno specificamente esplorato la copertura, l'accuratezza posizionale e la qualità dei dati OSM per gli edifici in aree urbane specifiche come le città di Roma e Pavia (Brovelli et al., 2016; Franzini et al., 2020; Salvucci e Salvati, 2022), confrontandoli con aree meno popolate. I lavori mostrano come la qualità dei dati è maggiore in aree più abbienti (Salvucci e Salvati, 2022). Altri lavori si sono concentrati su musei e siti culturali e hanno analizzato le determinanti dell'eterogeneità spaziale nella qualità dei dati (Balducci, 2021). Broccoli e Bruzzone (2018) hanno presentato i primi risultati sull'uso di OpenStreetMap per indicatori di prestazione della sicurezza sulla rete stradale italiana. Combinando l'uso di indagini statistiche, sistemi informativi geografici amministrativi (GIS) e fonti di *Big Data* (BD), il risultato fornisce nuovi elementi sulla pianificazione di soluzioni infrastrutturali, sull'applicazione di politiche per ridurre morti e feriti gravi, sulla riduzione dei costi sociali per la collettività e sulla stima dell'efficienza e dell'efficacia delle iniziative di sicurezza.

Questo lavoro muove dall'ipotesi che elevate correlazioni tra le misure tradizionali basate su dati strutturati a livello provinciale (ad esempio, reddito pro capite, tasso di occupazione, aspettativa di vita) e le caratteristiche OSM estratte (ad esempio numero di edifici, superficie media del verde, numero di attività commerciali, numero di stazioni di bike sharing) permetterebbero di qualificare questi ultimi come proxy attendibili dei primi. La maggior parte degli studi concorda sul fatto che l'uso dei dati OSM dovrebbe integrare fonti di informazione più tradizionali come quelle fornite dagli uffici statistici nazionali (Feldmeyer et al., 2020, Salvati e Salvucci, 2021; Kopczyńska, 2022, Wójcik e Andruszek, 2022, Sarretta et al., 2023, Olivari et al., 2023). Esplorarne la capacità predittiva sarebbe un primo passo verso la comprensione della loro effettiva potenzialità e delle eventuali specificità applicative future. Queste nuove fonti di dati sono particolarmente rilevanti nel contesto del *Next Generation EU* e del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) che pongono particolare enfasi sulla valutazione dei progressi di progetti e riforme. L'importanza della valutazione a livello locale è particolarmente evidente nel PNRR italiano. Vale la pena notare come le misure di investimento affidate agli enti locali ammontano a circa 87 miliardi di euro, pari a oltre un terzo del PNRR. Ci si aspetta quindi che le autorità locali svolgano un ruolo importante nell'attuazione dei singoli investimenti e riforme. Sulla base delle loro competenze nell'ambito del sistema di governance multilivello del PNRR italiano, dovranno riferire al Ministero dell'Economia e delle Finanze sui progressi nell'attuazione (D'Alfonso, 2022). Nell'ambito dell'iniziativa "*Beyond GDP*" dell'Unione

Europea e dell'iniziativa *Sustainable Development Goals* (SDG) delle Nazioni Unite, i dati raccolti per gli indicatori multidimensionali di benessere fanno parte di ampi set informativi ottenuti per aggregazione. Per la valutazione del benessere, ad esempio, nel caso dell'Italia, l'indice BES è derivato dalle statistiche ufficiali raccolte dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Gli indicatori multidimensionali consentono una comunicazione immediata del loro contenuto informativo ed è probabile che il loro utilizzo diventi sempre più pervasivo nei processi decisionali collettivi. Tuttavia, in Italia presentano un grosso limite: i dati sono disponibili a scala regionale (Nuts 2), con qualche rara applicazione a scala provinciale (Nuts 3) o a livello di singole aree metropolitane. Questo livello di analisi è spesso inadeguato per i policy maker, soprattutto nel contesto dei PNRR. In altre parole, i dati ufficiali disponibili sono troppo grossolani per un'analisi territoriale dettagliata e quindi inutili per valutare adeguatamente i progressi verso gli obiettivi della politica regionale e della pianificazione urbana. In questi casi può essere utile integrare i dati ufficiali con altre fonti primarie ben progettate, raccogliendo informazioni qualitative attraverso questionari e indagini. Inoltre, gli strumenti Web 2.0 e i relativi sistemi VGI possono offrire un valido contributo alla valutazione e al monitoraggio quantitativo e qualitativo dei progetti di sviluppo locale e dei loro impatti economici e sociali.

È in questo contesto che si ritiene che la crescente disponibilità di dati spaziali ad alta frequenza resi pubblici apra nuove possibilità per valutare la resilienza regionale. In particolare, queste nuove fonti di dati consentirebbero a ricercatori e professionisti di riformulare la raccolta di dati rilevanti per valutare il benessere e la resilienza a livello locale e di sviluppare un monitoraggio, un reporting e una valutazione tempestivi e basati sull'evidenza.

2.6 L'ANALISI: DATI E METODOLOGIA

Lo scopo del lavoro è valutare se e in che modo sia possibile dedurre caratteristiche socioeconomiche utilizzando le informazioni OSM su scala provinciale (livello NUTS-3) per l'Italia. L'approccio si basa sull'ipotesi che tra i POI raccolti possano esistere proxy delle metriche socioeconomiche. OpenStreetMap riporta le caratteristiche fisiche (ad esempio, strade o edifici) utilizzando tag assegnati alle singole strutture dati di base (nodi, percorsi e relazioni). Ogni tag descrive un attributo della caratteristica mostrata da quello specifico nodo, percorso o relazione. Pertanto, ogni oggetto mappato ha delle caratteristiche *key* e *value* che consentono di determinare specificatamente la tipologia di Punto di Interesse. Le informazioni OSM a livello provinciale si riferiscono alle mappe generate a settembre 2022, mentre le informazioni alle scale comunale e subcomunale sono riferite

alle mappe OSM di luglio 2023. Per produrre metriche comparabili, ciascuna categoria OSM è stata normalizzata per il valore della popolazione relativa alla provincia o municipalità di riferimento. I dati sulla popolazione provinciale e comunale hanno come fonte i dati ISTAT e si riferiscono alla popolazione residente al 1° gennaio 2022. I dati demografici per i Municipi di Roma si riferiscono al 2018 e sono stati raccolti dal sito www.mapparoma.info/risorse/.

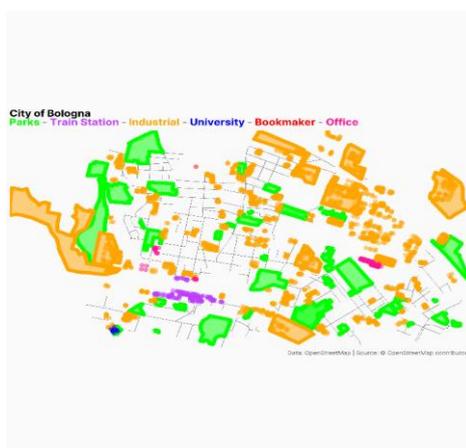
L'analisi, al fine di identificare quali metriche OSM possano considerarsi adeguate proxy dei tradizionali indicatori economici, sociali e ambientali, si concentra su 24 indicatori target tratti dalle statistiche ISTAT e scelti tra quelli disponibili nel database relativo agli “Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo”. La selezione degli indicatori target è stata effettuata in modo da considerare la maggior parte delle aree del benessere socioeconomico e sostenibile. I dati estratti sono i più recenti a disposizione, per alcune variabili target è stato possibile fare affidamento sul più recente dato del 2021, in alcuni casi è stato necessario fare riferimento ad anni precedenti (si veda Tabella A2.1 in Appendice per una descrizione esaustiva delle variabili obiettivo e l'anno di riferimento).

Il lavoro ha attraversato diverse fasi. Innanzitutto, l'analisi ha comportato la raccolta di 128 caratteristiche territoriali OSM che sono state conteggiate per ciascuna provincia utilizzando il pacchetto R *osmdata* e le relative funzioni. Visto l'elevato numero di *key values*, seguendo una metodologia già adottata in lavori precedenti (ad esempio, Ubaldi et al., 2021), è stata definita una tassonomia semplificata dei luoghi per mappare i Punti di Interesse per i territori (province) NUTS-3 italiani in modo coerente, sviluppando una mappatura personalizzata delle caratteristiche raccolte che ha condotto alla definizione di 60 categorie ben definite. Si è giunti a questa classificazione aggregando i conteggi associati a caratteristiche simili per etichette in OSM. Per maggiore chiarezza si riporta qui un esempio per il caso dei servizi di ristorazione: nella categoria denominata “*food drink*” OSM fornisce diverse valorizzazioni per il key “*amenity*” con i valori “*value*”: “bar”, “biergarten”, “cafe”, “food_court”, “ice_cream”, “pub” e “restaurant”. Per questa, così come per altre casistiche analoghe, si è deciso di raggruppare all'interno di un'unica categoria le diverse valorizzazioni. Per l'aggregazione delle strutture religiose è stata utilizzata la categoria “church” per i luoghi di culto riferiti alla confessione cristiana, la più praticata in Italia, riservando un'altra categoria per l'aggregazione di strutture riferite ad altre confessioni religiose, alle quali generalmente si riferiscono le minoranze. L'elenco completo delle aggregazioni è riportato nella Tabella A2.2 in Appendice. La funzione *osmdata_sf* ha permesso di considerare ogni POI secondo diversi attributi geometrici: punto, poligono, multipoligono e linea. Per ogni gruppo *key* e *value* individuato è stata scelta la geometria da conteggiare. Con l'obiettivo di mitigare la criticità legata alla qualità dei dati, ove possibile, è stata scelta la geometria punto, quella con maggiore numerosità tra le categorie,

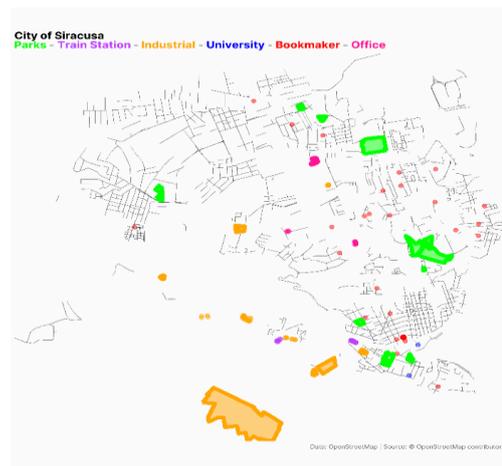
optando per la geometria poligonale solo nei casi identificati in OSM quali aree estese (ad esempio, *land forest: forest areas*). Conteggiando la misura con maggior numerosità, è stato possibile ottenere una migliore e più estesa distribuzione delle caratteristiche territoriali, mitigando possibili preoccupazioni legate alla completezza dei dati.

Il censimento è stato effettuato per la quasi totalità delle province italiane. I calcoli per le province di Forlì-Cesena, Aosta, Pordenone e Sud Sardegna non sono stati possibili a causa di errori nella procedura di conteggio delle funzioni R. Complessivamente le 103 province studiate raggruppano una popolazione di quasi 58 milioni di abitanti. In tutti questi casi il conteggio è avvenuto per l'area denominata *bounding box* ed estratta utilizzando la funzione *st_bbox*, in grado di includere la provincia esaminata. La funzione *st_bbox*, infatti, estrae un quadrato di coordinate che comprende sia l'intera area della provincia selezionata. Non essendo i confini amministrativi tracciati con la stessa regolarità del quadrato entreranno nell'area in considerazione della funzione anche i comuni fuori provincia ad essa adiacenti. Di conseguenza, il conteggio include anche alcuni POI che si trovano fuori dai confini amministrativi della provincia in esame ma che si trovano nelle immediate vicinanze. I due esempi riportati nelle mappe seguenti possono aiutare a comprendere il conteggio eseguito in questo passaggio (Figura 2.10).

Figura 2.10. Mappe di distribuzione spaziale delle categorie selezionate OSM per la città di Bologna (a sinistra) e la città di Siracusa (a destra)



Città di Bologna



Città di Siracusa

Le mappe riportate in Figura 2.10 mostrano parte del territorio comunale della città di Bologna, la prima, mentre la seconda mappa si riferisce a Siracusa in Sicilia. Ogni colore corrisponde a una diversa categoria: Parco, Stazione ferroviaria, Sito industriale, Università, Agenzia di scommesse, Uffici. Come spiegato in precedenza, i Parchi vengono segnalati e conteggiati come poligoni, in

quanto aree relativamente estese, mentre le linee identificano le strade urbane mediante la geometria definita "linea". Gli elementi contrassegnati in OSM con tag come "bookmakers", "offices", "industries", e "industrial buildings" sono identificati come punti nell'analisi. Per adeguarsi alle diverse dimensioni delle province e produrre indicatori di densità comparabili, i conteggi OSM per ciascun predittore sono stati divisi per la rispettiva popolazione provinciale al 1° gennaio 2022 (per 5mila abitanti).

Il dataset risultante contiene 60 variabili (categorie di POI estratti da OSM) e 103 osservazioni, una per ciascuna provincia. Dato l'elevato numero di regressori relativamente al ridotto numero di osservazioni, si è scelto come approccio quello della regressione di tipo *Least Absolute Shrinkage and Selection Operator* (LASSO) (Tibshirani, 1996). In statistica e *machine learning*, la regressione LASSO è un metodo basato su un'analisi di regressione lineare in grado di eseguire sia la selezione che la regolarizzazione delle variabili al fine di migliorare l'accuratezza previsionale e l'interpretabilità del modello statistico risultante. L'uso di questa tecnica di regressione consente di gestire problemi di multicollinearità, minimizzando la complessità del modello e quindi selezionando il modello che bilancia adattabilità e semplicità includendo solo le variabili più influenti. L'algoritmo LASSO prevede una procedura di regolarizzazione con penalità di tipo L1, che penalizza il valore assoluto dei coefficienti del modello. Il parametro di penalità lambda (λ), definito anche parametro di tuning, moltiplicato per la somma del valore assoluto dei coefficienti Beta, definisce il termine di penalità. Quando il valore lambda è prossimo allo zero ($\lambda = 0$), il modello non ha penalità e le stime prodotte sono le stesse che si otterrebbero da un modello di stima OLS o dei minimi quadrati ordinari. Quando, invece, il valore lambda è grande ($\lambda \rightarrow \infty$), allora il modello stimato è un modello nullo senza coefficienti ad eccezione dell'intercetta. Di conseguenza, i coefficienti ritenuti pari a zero verranno eliminati dal modello durante la fase di riduzione dei coefficienti. Poiché l'approccio LASSO seleziona automaticamente i predittori ritenuti importanti e rimuove le caratteristiche non rilevanti, può essere pensato come una strategia di selezione delle variabili.

La regressione LASSO è stata implementata in R utilizzando il pacchetto di funzioni *glmnet* (v4.1-1) (Friedman et al., 2010). Considerata la dimensione ridotta del campione di 103 osservazioni, è stata impiegata la tecnica di validazione incrociata *k-fold* con 10 "tasche" per ridurre al minimo i rischi associati *all'overfitting*. Questa procedura di validazione separa i dati in K sottoinsiemi (tasche) di uguale dimensione. Un sottoinsieme n tasche viene utilizzato per la validazione, mentre il restante k-n tasche viene utilizzato nell'addestramento del modello. In sintesi, il metodo applicato nella presente analisi si basa sui seguenti passaggi:

- 1) Per addestrare il modello vengono utilizzati sottoinsiemi di dati in un numero pari a $K-n$;
- 2) Il modello ottenuto dal passaggio precedente viene testato sul sottoinsieme di dati escluso dalla precedente fase di training;

I due passaggi vengono ripetuti k volte, ovvero fin quando il modello non viene addestrato e testato su tutti i sottoinsiemi possibili di dati. Il procedimento si ripete per k volte, in questo caso si è scelto per dieci volte, come da numerosi esempi in letteratura. Per valutare l'accuratezza complessiva del modello LASSO sono state considerate tre metriche, vale a dire l'errore quadratico medio (RMSE), l'errore assoluto medio (MAE) e il coefficiente di determinazione (R-quadrato). L'RMSE è la radice quadrata della differenza media quadratica tra il valore effettivo e il valore previsto della variabile target. Fornisce l'errore medio di previsione commesso dal modello. Al diminuire del valore RMSE, la precisione del modello aumenta. Il MAE è la differenza assoluta tra i valori effettivi e i valori previsti dal modello per la variabile target. I modelli accurati registrano valori MAE più bassi. R-quadrato è la percentuale di varianza nella variabile dipendente spiegata congiuntamente dalle variabili indipendenti. Su una scala da zero a uno, rappresenta la forza dell'associazione tra la variabile target e il modello. Un modello accurato avrà un valore R quadrato elevato.

2.7 RISULTATI

In questa sezione vengono riassunti i principali risultati dell'analisi. La relazione tra ciascun indicatore statistico (ad esempio, reddito disponibile medio, tasso di disoccupazione giovanile) e le caratteristiche OSM viene derivata attraverso il metodo di selezione delle variabili LASSO. La Tabella 2.5 fornisce una panoramica dell'accuratezza dei modelli LASSO applicati alla stima di indicatori rilevanti di benessere a partire dal computo della numerosità delle categorie di Punti di Interesse presenti sul territorio mappati in OSM per le province italiane. Le variabili socioeconomiche riportate nella Tabella 2.5 sono ordinate in ordine decrescente in base al valore R quadrato.

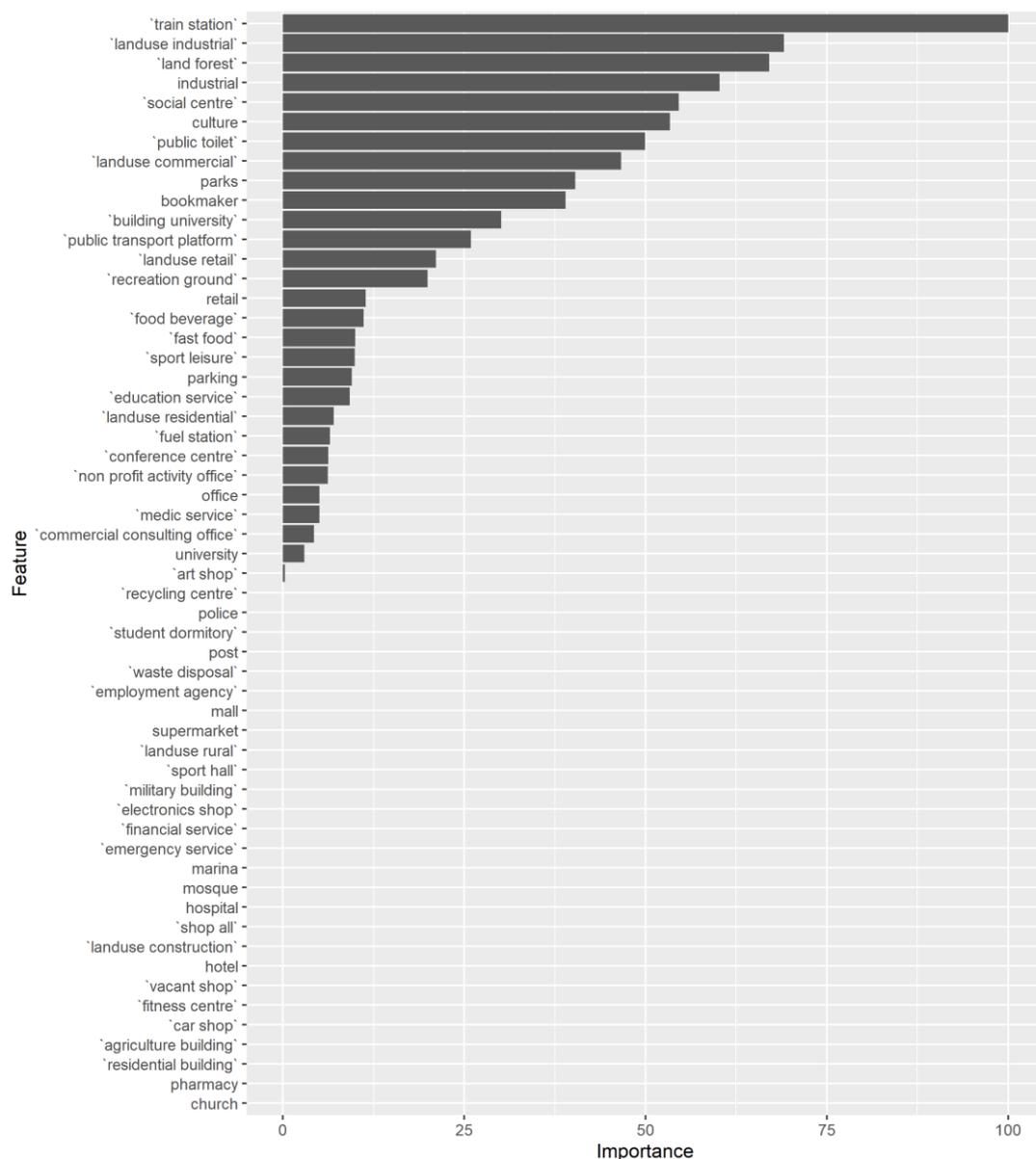
Tabella 2.5. Accuratezza LASSO per gli indicatori target di benessere: Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) e R-squared (R2)

	RMSE	R2	MAE
tasso occupazione giovanile 2020	3,535956038	0,844592081	2,687387324
patrimonio medio pro-capite 2017	20948,14178	0,798672383	16177,55092
reddito medio disponibile per-capite 2017	1916,533616	0,7482622	1537,298814
quota popolazione con competenze letterarie inadeguate 2019	5,232963397	0,674043117	4,181937959
% bambini 0-3 che usufruiscono dei servizi per l'infanzia 2019	5,008095312	0,657957754	3,959424658
NEET 2020	4,991233132	0,656600569	4,092601123
tasso disoccupazione femminile 2021	3,589361503	0,643872042	2,860493053
propensione alla brevettazione 2017	41,69355137	0,633375352	31,17162275
partecipazione elettorale 2019	6,860490015	0,622203647	5,42720115
peso delle cooperative nell'economia 2018	1,117968928	0,620962603	0,849262943
tasso di disoccupazione 2021	3,203113468	0,619785905	2,53901653
tasso di occupazione over54 2021	4,586327398	0,605519014	3,613920226
mortalità evitabile 2019	1,263482534	0,59556366	0,975874775
n di sottoscrizioni banda ultralarga in rapporto alla popolazione 2020	2,658620616	0,594463135	2,156311732
tasso disoccupazione giovanile 2021	9,036429416	0,476006658	7,08679815
concentrazione annuale media PM10 2019	4,424237335	0,470453975	3,555471792
% raccolta differenziata 2020	9,423780577	0,45138194	7,634170531
export (€) 2019	5004779874	0,407981698	3079663233
crimini diffusi registrati 2019	55,12858763	0,349659865	40,94357566
posti letto in ospedale 2018	6,910817964	0,283130879	5,53701689
disponibilità del verde urbano 2019	106,5901428	0,162970193	43,99687814
tasso lordo di registrazione delle imprese 2020	3370,347826	0,139666496	1720,580233
imprese registrate 2021	61771,20064	0,135146406	32647,5201
km offerti dal tpl 2019	2185,854823		1402,902253

La variabile target che si colloca più in alto in termini di R quadrato (0,845) è il tasso di occupazione giovanile provinciale (15-29 anni) per l'anno 2020.

La Figura 2.11 fornisce un'interpretazione visiva all'analisi della *Variable Importance* delle categorie OSM nella previsione dell'occupazione giovanile. tasso di occupazione. La *Variable Importance* esprime quanto all'interno di un modello di stima ogni singola variabile "pesa", spiega rispetto alle altre, nella determinazione delle previsioni. Quanto più un modello si affida a una variabile per fare previsioni, tanto più importante è quella misura per il modello. La Figura 2.11 evidenzia che le misure OSM più importanti nel determinare i tassi di occupazione giovanile previsti sono: il numero di stazioni ferroviarie per 5mila abitanti, le aree contrassegnate come industriale, aree forestali e i punti identificati come siti industriali.

Figure 2.11. Variable Importance per le categorie OSM nella previsione del tasso di occupazione giovanile al 2020



I successivi predittori più importanti sono il numero di centri sociali e quello dei luoghi culturali (teatri, cinema e centri artistici), i bagni pubblici, i siti commerciali, i parchi, le università e le fermate del trasporto pubblico. I valori riportati in Figura 2.11 sono espressi in termini assoluti; pertanto, non consentono di identificare il segno della relazione tra le misure OSM e la variabile target. Per avere una valutazione del segno della relazione, i coefficienti ottenuti dalla regressione LASSO forniscono informazioni sia sull'intensità che sulla direzione delle relazioni tra le caratteristiche OSM e le variabili socioeconomiche. La Tabella 2.6 riporta l'elenco dei 30 regressori OMS che risultano essere predittori significativi del tasso di occupazione giovanile dal modello di regressione LASSO

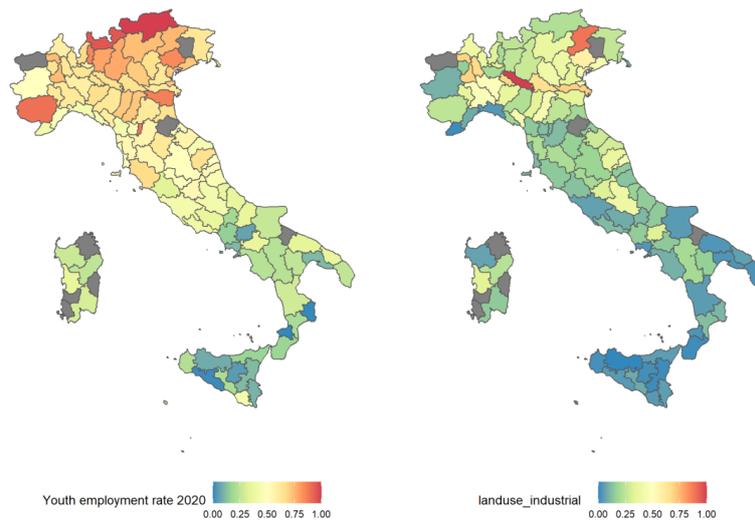
calcolato. Tra questi, i coefficienti positivi sono quelli associati ai siti industriali, alle aree forestali e ai centri sociali e, in misura minore, alle strutture universitarie, ai parchi e alle piattaforme di trasporto pubblico. Al contrario, il numero delle stazioni ferroviarie e delle agenzie di scommesse presentano un coefficiente negativo e significativo di correlazione con la misura target.

Tabella 2.6 Tasso di occupazione giovanile: coefficienti di regressione LASSO associati alle caratteristiche OSM.

regressor	
(Intercept)	30,5398
landuse_industrial_per5mila	2,8158
land_forest_per5mila	2,7656
industrial_per5mila	2,5389
social_centre_per5mila	2,2509
public_toilet_per5mila	1,994
parks_per5mila	1,6049
building_univ_per5mila	1,2241
platform_per5mila	1,1274
recreation_ground_per5mila	0,8224
fast_food_per5mila	0,4458
food_beve_per5mila	0,3728
retail_per5mila	0,3127
education_per5mila	0,2749
medic_per5mila	0,2262
landuse_residential_per5mila	0,213
off_company_per5mila	0,1956
terzo_settore_per5mila	0,1865
office_per5mila	0,1519
university_per5mila	0,0967
waste_per5mila	0,0378
conferenze_per5mila	-0,236
fuel_station_per5mila	-0,2585
sport_leisure_per5mila	-0,2668
parking_per5mila	-0,3578
landuse_retail_per5mila	-0,7169
bookmaker_per5mila	-1,6638
landuse_commercial_per5mila	-1,8647
culture_per5mila	-2,221
train_station_per5mila	-4,008

Visualizzare la distribuzione spaziale della variabile target e di alcune delle caratteristiche OSM più rilevanti nel determinarne la previsione, può aiutare ulteriormente a comprendere la loro relazione.

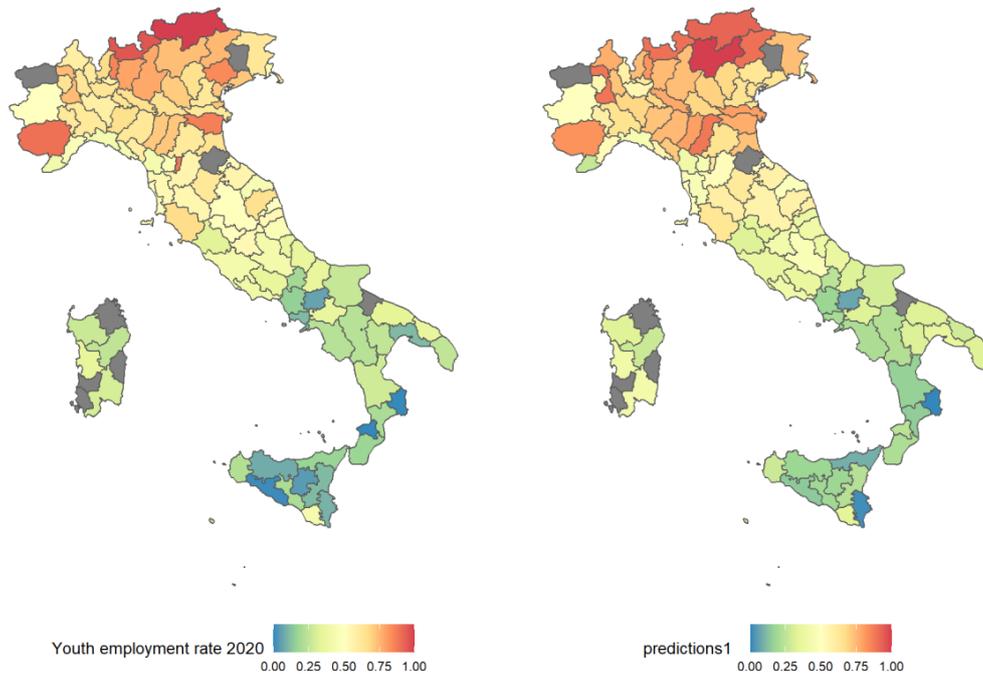
Figura 2.12 Distribuzione spaziale del tasso di occupazione giovanile (mappa di sinistra) e incidenza delle aree contrassegnate come industriali in OSM (mappa di destra). Valori normalizzati.



La Figura 2.12 mostra visivamente la distribuzione del tasso di occupazione giovanile rispetto alla distribuzione delle aree industriali per 5.000 abitanti derivata dal conteggio dei relativi POI in OSM. Questo confronto diretto si fonda sull'idea di una stretta connessione tra occupazione e aree ad alta specializzazione industriale. I dati OSM e il processo di selezione delle variabili basato sui dati attraverso la regressione LASSO sembrano confermare questa relazione. Infatti, il numero di aree industriali, cioè di poligoni associati all'uso del territorio in ambito industriale, emerge come la caratteristica OSM con il coefficiente LASSO più elevato e di segno positivo (2,82) nel modello utilizzato per prevedere il valore del tasso di occupazione giovanile (Tabella 2.6).

La Figura 2.13 è ancora più efficace poiché confronta la distribuzione spaziale dei valori effettivi (a sinistra) e dei valori previsti (a destra) per il tasso di occupazione giovanile. Infatti, il processo di selezione basato sui dati non stabilisce semplicemente un'associazione con un predittore, ad esempio il numero di aree industriali, ma, invece, l'algoritmo seleziona i 30 regressori OSM più rilevanti che sono tutti considerati significativi rispetto la variabile target.

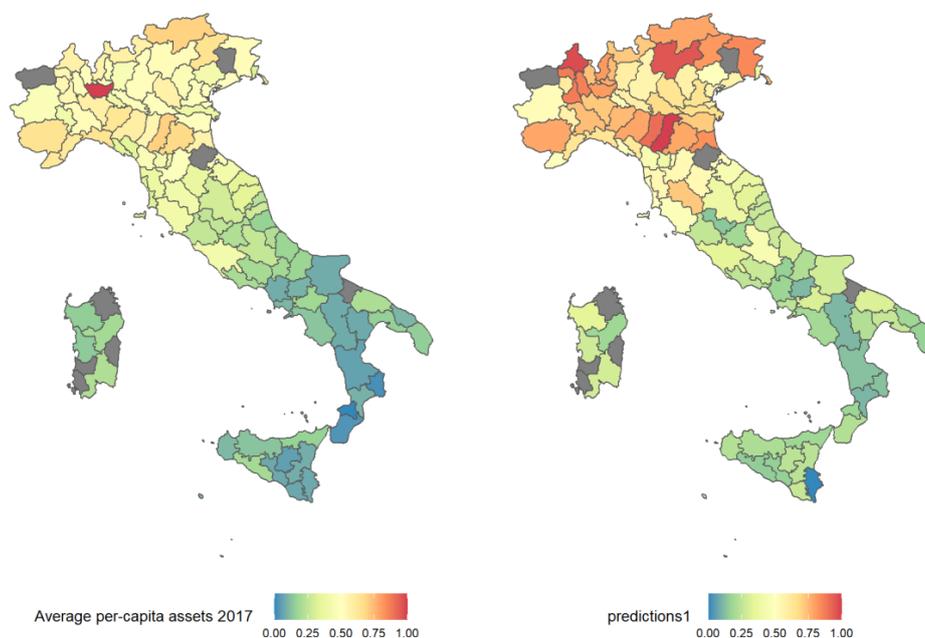
Figura 2.13. Distribuzione spaziale del tasso di occupazione giovanile: valori effettivi (mappa a sinistra) e valori previsti basati sul modello LASSO applicato alle caratteristiche OSM (mappa a destra). Valori normalizzati.



La mappa dei valori previsti a livello provinciale (Figura 2.13, mappa a destra) tende a mostrare una distribuzione più simile a quella dei valori effettivi rispetto alla somiglianza di quest'ultima con la distribuzione provinciale delle aree industriali (Figura 2.12, mappa a destra). Pertanto, le Figure 2.12 e 2.13 considerate insieme suggeriscono che è possibile ottenere prestazioni più elevate adottando il modello di selezione basata sui dati, con tutti i predittori rilevanti, come espressione indiretta della complessità dell'attività umana in ciascun territorio, piuttosto che considerare solo le grandezze più importanti come proxy OSM per il tasso di occupazione giovanile seguendo una valutazione esperta in termini di coerenza con l'interpretazione economica immediata.

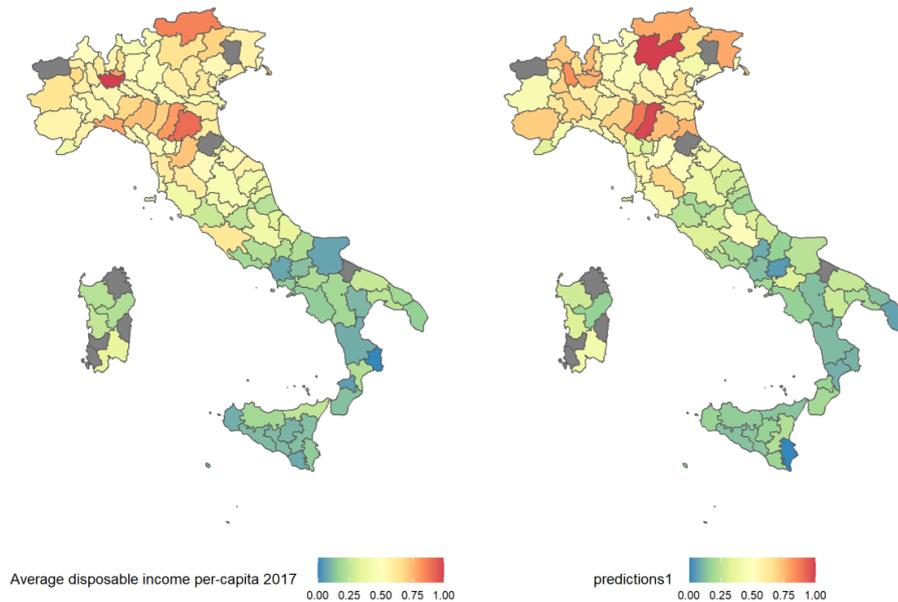
Rispetto all'accuratezza dei modelli stimati, è opportuno notare che, tra gli indicatori target ISTAT considerati nell'analisi in associazione con le misure OSM, i valori di R quadrato più elevati si ottengono per il patrimonio medio pro capite (0,7986) e per il reddito medio pro capite (0,7482). Per entrambi gli indicatori della ricchezza monetaria, il noto divario Nord-Sud tipico dell'economia italiana si conferma anche ad un elevato livello di granularità spaziale, sia per valori reali sia per i valori stimati via OSM (Figure 2.14 e 2.15). Vale la pena notare che Milano si distingue come valore estremamente positivo nelle fonti ISTAT, mentre la provincia Verbano-Cusio-Ossola, l'insieme delle province confinanti con quella di Milano, la provincia di Trento e quella di Modena registrano i valori predetti più elevati, con valori simili risultati per le due misure studiate (Figura 2.14 e 2.15), producendo una mappatura dei valori predetti maggiormente distribuita attorno ai centri.

Figura 2.14. Distribuzione spaziale del patrimonio medio pro capite: valori effettivi (mappa a sinistra) e valori previsti basati sul modello LASSO applicato alle caratteristiche OSM (mappa a destra). Valori normalizzati.



La somiglianza nei risultati in termini di entità e segno del legame tra ciascuna delle variabili target selezionate e le categorie OSM non dovrebbe sorprendere se si considera che le due statistiche utilizzate per valutare la ricchezza monetaria sono altamente correlate tra loro (0,9265).

Figura 2.15. Distribuzione spaziale del reddito medio pro capite: valori effettivi (mappa a sinistra) e valori previsti basati sul modello LASSO applicato alle caratteristiche OSM. Valori normalizzati.



Passando all’analisi dettagliata dei coefficienti stimati con tecnica LASSO, è evidente che, per entrambe le variabili target di ricchezza pro-capite, i punti di interesse considerati in OSM come siti industriali, edifici universitari e quelli individuati come uffici rientrano tra le categorie con il maggior potere esplicativo nel modello. Per queste misure il segno della relazione è positivo. Allo stesso modo, il numero dei bookmaker, dei distributori di carburante e delle stazioni ferroviarie figurano tra i regressori significativi, mostrando però un segno negativo (tabelle 2.7 e 2.8).

Tabella 2.7. Coefficiente significativo identificato per prevedere il patrimonio medio pro capite e il reddito disponibile medio pro capite.

Patrimonio medio pro-capite 2017		Reddito disponibile medio pro-capite 2017	
Significant regressor	Coefficient	Significant regressor	Coefficient
(Intercept)	149719,9777	(Intercept)	17761,386
industrial_per5mila	10301,0367	industrial_per5mila	4
social_centre_per5mila	9530,246	building_univ_per5mila	1089,4194
emergency_per5mila	8689,2948	office_per5mila	684,9705
Religious_per5mila	7617,862	social_centre_per5mila	541,3882
office_per5mila	6972,9312	recycling_per5mila	536,6839
building_univ_per5mila	6469,6029	Financial_per5mila	503,0695
Finacial_per5mila	6342,1763	off_company_per5mila	468,4748
recycling_per5mila	4679,6043	platform_per5mila	461,4398
off_company_per5mila	3691,8031	recreation_ground_per5mila	437,8698
			337,0579

platform_per5mila	3383,5392	art_shop_per5mila	283,026
art_shop_per5mila	3156,0825	emergency_per5mila	225,4643
landuse_construction_per5mila	3124,1842	oth_relig_per5mila	178,9435
dormitory_per5mila	2903,0151	residential_per5mila	165,6362
parks_per5mila	2821,4117	dormitory_per5mila	101,7434
food_beve_per5mila	2342,8573	parks_per5mila	98,6413
landuse_residential_per5mila	1420,8789	retail_per5mila	17,029
hospital_per5mila	1395,9125	sport_leisure_per5mila	-0,7159
residential_per5mila	1364,1166	landuse_commercial_per5mila	-23,9054
hotel_per5mila	1065,2927	aereoporti_per5mila	-78,0496
parking_per5mila	970,3257	culture_per5mila	-353,1563
land_forest_per5mila	544,9727	fuel_station_per5mila	-483,8816
employ_agency_per5mila	41,8265	conferenze_per5mila	-513,6894
electronics_per5mila	-1681,7511	bookmaker_per5mila	-574,0406
sport_leisure_per5mila	-2974,987	train_station_per5mila	-827,1241
conferenze_per5mila	-5493,5294		
bookmaker_per5mila	-7315,7316		
fuel_station_per5mila	-8137,6592		
culture_per5mila	-9441,0425		
train_station_per5mila	-14600,4847		

Si può ipotizzare che tali evidenze possano essere ampiamente utilizzate dai decisori politici, interessati all'implementazione di politiche di monitoraggio attivo del benessere sui territori. Quando le condizioni economiche, sociali e ambientali non possono essere identificate con dati diretti, esse possono essere valutate a partire da dati OSM più strettamente inerenti alla situazione economica e sociale locale attraverso la manifestazione delle attività economiche umane che si articolano su un territorio. Da questo punto di vista, è interessante notare l'elevata capacità predittiva dei POI etichettati come "*bookmakers*" che viene selezionato come regressore significativo per molte variabili target (Appendice Tabella A2.3). Più in dettaglio, vale la pena notare come le province con un elevato numero di agenzie di scommesse censite in OSM sono caratterizzate anche da più alti tassi di disoccupazione per le fasce potenzialmente più vulnerabili della società (giovani, donne). Inoltre, la densità dei bookmaker è positivamente correlata alla mortalità evitabile, alla presenza di NEET e a popolazione con competenze di alfabetizzazione inadeguate. Inoltre, non solo i *bookmakers* sono negativamente correlati alle tradizionali misure di ricchezza monetaria, come il patrimonio pro capite e il reddito pro capite, ma sono anche inversamente e significativamente associati a parametri che stimano la presenza di elementi qualificanti per il benessere quali il capitale sociale, il senso civico e

il corretto funzionamento delle istituzioni locali come la percentuale di raccolta differenziata, la partecipazione elettorale, il tasso di occupazione over54, il tasso di occupazione giovanile e percentuale di bambini che trovano spazio nei servizi per l'infanzia (Tabella 2.8).

Tabella 2.8. Correlazioni significative tra i valori dei bookmaker OSM e gli indicatori socioeconomici ISTAT

OSM Point of Interest	Target Variable	corr value	p-value
Bookmakers	tasso disoccupazione femminile 2021	0,46	0,00
Bookmakers	tasso disoccupazione 2021	0,42	0,00
Bookmakers	NEET 2020	0,39	0,00
Bookmakers	tasso disoccupazione giovanile 2021	0,36	0,00
Bookmakers	mortalità evitabile 2019	0,33	0,00
Bookmakers	quota popolazione con competenze letterarie inadeguate 2019	0,32	0,00
Bookmakers	% bambini 0-3 che usufruiscono dei servizi per l'infanzia 2019	-0,25	0,01
Bookmakers	reddito medio disponibile per-capite 2017	-0,25	0,01
Bookmakers	patrimonio medio pro-capite 2017	-0,27	0,01
Bookmakers	partecipazione elettorale 2019	-0,28	0,00
Bookmakers	tasso di occupazione over54 2021	-0,34	0,00
Bookmakers	% raccolta differenziata 2020	-0,35	0,00
Bookmakers	tasso occupazione giovanile 2020	-0,36	0,00

Nota: valori di Bookmakers normalizzati per cinque mila abitanti.

È interessante notare che le correlazioni significative riportate nella Tabella 2.8 sono ampiamente confermate dai risultati delle regressioni LASSO. Le categorie OSM con coefficienti significativi per le diverse variabili target sono riportate nella Tabella A 2.3 dell'Appendice come controllo di robustezza. Le prove supportano l'ipotesi che la concentrazione spaziale dei bookmaker è significativamente correlata con diversi indicatori socioeconomici ISTAT, vale a dire NEET 2020, tasso di disoccupazione giovanile (2021, 2020), competenza di alfabetizzazione inadeguata nel 2019, la percentuale di bambini tra zero e tre anni che hanno usufruito dei servizi per l'infanzia nel 2019, reddito disponibile medio pro capite 2017, patrimonio medio pro capite 2017 (Tabella A 2.3).

Nel loro insieme, i risultati delle regressioni LASSO (Tabella A 2.3) e quelli dell'analisi di correlazione tra lo specifico punto di interesse OSM e gli indicatori ISTAT (Tabella 2.8) suggeriscono che un'elevata incidenza di *bookmakers* può essere una proxy per valutare la vulnerabilità territoriale, ovvero può essere riferita ad un ambiente locale caratterizzato da arretratezza economica, bassa qualità istituzionale, difficoltà sociali e capitale umano inadeguato. Sulla base dei risultati ottenuti

non si intende sostenere un nesso causale tra la maggiore densità di bookmaker e la disoccupazione o la quota di NEET a livello locale. Non è sufficiente eliminare o vietare l'apertura di nuovi punti di gioco in alcune località per aumentare il reddito pro capite e l'occupazione o per abbassare la quota di NEET a livello locale. Tuttavia, come per tutti i POI indagati, la distribuzione spaziale delle agenzie di scommesse è manifestazione dell'attività umana, e va tenuto presente che i bookmaker sono attività economiche, in competizione tra loro, che si rivolgono ad alcune specifiche categorie di utenti/utenze o consumatori. In quest'ottica, le agenzie di scommesse, come altre attività commerciali come supermercati o ristoranti, seguiranno la distribuzione spaziale della sua domanda potenziale per garantire la redditività dell'attività economica stessa. Ciò che si vuole evidenziare con questo lavoro è come la densità posizionale delle agenzie di scommesse, così come di altre tipologie di POI, può essere considerata un buon indicatore della concentrazione/segregazione di gruppi sociali specifici e più fragili.

Quanto ottenuto dall'analisi, risulta coerente con le prove fornite da Resce et al. (2019). Nel loro lavoro, gli autori dividono i prodotti del gioco d'azzardo in tre macrocategorie: giochi tradizionali (es. Lotto, Bingo), giochi di nuova generazione (es. Slot Machine) e Scommesse (es. Totocalcio e Scommesse sportive). L'obiettivo è esplorare la relazione tra il consumo delle diverse categorie di gioco d'azzardo e le caratteristiche socioeconomiche dei giocatori. All'interno delle categorie identificate, gli autori distinguono tra giochi rivolti principalmente a giocatori ad alto reddito e giochi con target fasce meno abbienti della popolazione. I risultati suggeriscono che i giochi tradizionali sono maggiormente praticati dalle persone con redditi più alti, mentre le scommesse sportive e i giochi di nuova generazione sono più popolari tra quelli con redditi più bassi. Analizzando la disuguaglianza economica emersa per i giochi a favore dei più poveri, i fattori principali sono il reddito e l'età. Altri fattori minori di disuguaglianza sono il livello di istruzione, il genere, la posizione geografica (il gioco d'azzardo è più diffuso nelle regioni meridionali italiane) e la posizione lavorativa (studenti e disoccupati tendono a praticare maggiormente il gioco d'azzardo, soprattutto scommesse e nuovi giochi).

L'analisi fin qui condotta fornisce evidenza di come le agenzie di scommesse tendano a concentrarsi in quelle province dove la disoccupazione è più alta e il reddito medio è più basso. Pertanto, vista la coerenza con altre evidenze frutto dell'applicazione di diverse metodologie, i risultati evidenziano la potenziale utilità dei dati OSM per integrare l'analisi della resilienza economica a livello locale basata su dati ufficiali. In particolare, esplorare la localizzazione di determinate attività umane attraverso la lente dei dati OSM può accelerare l'identificazione dei territori vulnerabili, fornendo così un supporto cruciale ai decisori su dove indirizzare le limitate risorse disponibili, garantendo così interventi più mirati e tempestivi.

2.8 SCALABILITÀ DEL METODO: POSSIBILI ESTENSIONI E VERIFICHE DI ROBUSTEZZA

Questa sezione fornisce due tentativi volti ad esplorare la scalabilità dell'approccio basato sulla regressione LASSO e sulle categorie di input OSM, cioè se sia trasferibile tra scale spaziali, sempre più fini, senza alcun aggiustamento significativo. Le analisi sono di due tipi, in un primo caso, viene fornita un'analisi dell'estensione spaziale delle correlazioni tra le caratteristiche OSM e gli indicatori statistici per la variabile obiettivo "Reddito ante imposte". Successivamente, il modello LASSO stimato a livello provinciale per stimare il tasso di disoccupazione verrà applicato a livello intra-metropolitano, al fine di verificarne la capacità predittiva inter-scala. Per il secondo caso vengono presentati anche i controlli di robustezza ottenuti dall'impiego della regressione definita *Adaptive Lasso*.

I risultati forniti nelle sezioni precedenti suggeriscono la possibilità di utilizzare i dati OSM per previsioni di grandezze socioeconomiche a scale granulari ridotte. Per verificare la scalabilità del metodo, come primo passo, si dovrebbe caratterizzare l'estensione spaziale delle correlazioni tra le caratteristiche OSM e gli indicatori statistici di interesse, ma ciò è possibile solo se questi ultimi sono disponibili da fonti ufficiali. Se così fosse stato, avremmo potuto eseguire lo stesso algoritmo LASSO per tutte le variabili target incluse nell'analisi di base anche a livello subprovinciale. Sfortunatamente, non sono disponibili dati provenienti da fonti ufficiali a livello comunale e per affrontare questo problema la soluzione individuata è stata quella di eseguire la stessa analisi per una variabile obiettivo esemplare per la quale sono disponibili dati dettagliati sia a livello provinciale che comunale in Italia ovvero "Reddito ante imposte" (Fonte: Atlante Statistico dei Comuni/Atlante Statistico dei Comuni). A causa della limitata disponibilità di dati, l'analisi a livello comunale è stata effettuata su un campione di comuni italiani con almeno mille abitanti, al 1° gennaio 2022 (2860 osservazioni). Il campione delle province incluse nell'analisi è invece costituito dalle prime 103 osservazioni dell'analisi di base. I valori della variabile obiettivo, il reddito pro-capite ante tassazione, sono stati costruiti come rapporto tra reddito imponibile e numero di contribuenti con reddito imponibile per ciascun comune. Successivamente, le stesse 60 caratteristiche OSM sono state conteggiate per entrambe le scale spaziali e normalizzate per mille abitanti. La Tabella 2.9 riporta i predittori più importanti individuati dal modello LASSO applicato alle due scale spaziali.

Tabella 2.9 Reddito medio ante imposte 2020 – coefficienti LASSO

Provincial scale		Municipal scale	
Reddito medio ante imposte 2020		Reddito medio ante imposte 2020	
	Coeff		Coeff.
building university	731.50	office	296.753
industrial	660.30	commercial consulting office	180.0357
office	485.04	social centre	162.6104
financial service	417.58	industrial	133.7082
retail	404.62	retail	116.3877
social centre	389.03	landuse industrial	111.7157
commercial consulting office	383.36	emergency service	67.7164
parks	274.38	sport leisure	59.7227
recreation ground	244.87	art shop	3.4335
fitness centre	210.50	church	-73.9609
public transport platform	153.35	landuse rural	-114.1937
art shop	130.53	police	-157.4783
emergency service	100.40	post	-174.5753
recycling centre	97.96		
residential building	14.42		
pharmacy	-5.80		
landuse commercial	-26.51		
bookmaker	-325.59		
conference centre	-392.79		
fuel station	-411.58		
culture	-512.28		
train station	-666.70		
(Intercept)	19596.10	(Intercept)	19869.4504
RMSE	1507.3	RMSE	3462.7
R-Squared	0.737	R-Squared	0.079

Questa prima analisi di sensibilità suggerisce che per il reddito ante imposte l'insieme delle 60 categorie di input OSM hanno una capacità predittiva più elevata su scala provinciale che su scala comunale. Alla scala spaziale più alta, l'algoritmo LASSO seleziona 22 categorie OSM come predittori, mentre ne mantiene solo 13 alla scala territoriale inferiore. Tutti i predittori con coefficiente positivo a livello comunale sono selezionati con lo stesso segno dal modello LASSO anche a scala provinciale. Per quanto riguarda i "bookmaker", questa specifica categoria continua ad essere selezionata come predittore rilevante quando il modello LASSO viene applicato a dati a livello provinciale ma non quando lo stesso modello viene applicato a dati a livello comunale (Tabella 2.9). Ancora più importante, il confronto dei parametri riportati in fondo alla Tabella 2.9 per i due campioni evidenzia che l'accuratezza del modello è maggiore per il primo che per il secondo. L'R-Squared per il primo è pari a 0,737 e scende a 0,079 per il modello stimato a scala comunale, mentre l'RMSE è pari a 1507,3 per il primo, salendo a 3462,7 per il secondo. I risultati ottenuti da questa prima analisi di sensibilità suggeriscono che l'approccio LASSO basato sulle categorie OSM è migliore per ricavare una misura della ricchezza monetaria – cioè il reddito medio – su una scala provinciale più

ampia piuttosto che entro brevi distanze, come quelle associate ai comuni. Tuttavia, dovrebbero essere condotte ulteriori ricerche per determinare se questa analisi preliminare e incompleta possa trovare conferma attraverso ulteriori prove basate su un campione più ampio di comuni e variabili target.

Nelle sezioni precedenti, analizzando la distribuzione delle categorie OSM, è stata derivata la relazione tra ciascun indicatore statistico (ad esempio, reddito disponibile medio, tasso di disoccupazione giovanile...) e le categorie OSM più importanti su scala provinciale. Assumendo la validità di queste relazioni anche ad una granularità spaziale più fine, una prima questione rilevante è se sia possibile predire i valori per stessi indicatori statistici a scale spaziali inferiori (ad esempio comune, distretto, quartiere). Lo stesso può essere fatto in una prospettiva temporale, ovvero, assumendo la validità della relazione tra variazioni delle caratteristiche OSM e cambiamenti degli indicatori statistici in un dato periodo, si potrebbero prevedere cambiamenti degli indicatori ufficiali in altri periodi. In questa sezione viene presentato un tentativo di esplorare la prima questione, mentre la seconda estensione è considerata tra gli sviluppi più importanti per la ricerca futura. In particolare, data la scarsa disponibilità di dati ufficiali per la maggior parte delle variabili target selezionate per valutare il benessere a livello comunale, si ritiene importante esplorare la possibilità di utilizzare stime del modello a livello provinciale per ricavare la distribuzione spaziale delle variabili target ad un livello territoriale più dettagliato come quello intracomunale. Di seguito si propone un primo tentativo in questa direzione attraverso un caso studio focalizzato sui quindici quartieri intra-metropolitani di Roma (Municipi). I dati relativi al tasso di disoccupazione effettivo e agli abitanti su scala intra-metropolitana sono raccolti dalla piattaforma MappaRoma (<https://www.mapparoma.info>). L'analisi si avvale della stessa metodologia e funzionalità già utilizzate a livello provinciale per l'estrazione delle coordinate geografiche (*getbb*) e per il conteggio dei POI. Come in precedenza, i conteggi dei POI sono stati normalizzati per 5.000 abitanti utilizzando i dati dei residenti, come nel calcolo dell'occupazione a livello provinciale. Il modello LASSO con processo di validazione incrociata a 10 tasche è stato stimato a livello provinciale rispetto alla variabile target ISTAT "Tasso di disoccupazione 2021". Il modello registra un *R-Squared* pari a 0,61978, con i seguenti coefficienti selezionati come significativi:

Tabella 2.10. Tasso di disoccupazione 2021 (NUTS-3): risultati della regressione LASSO

Tasso di disoccupazione 2021 (NUTS-3)

regressor

(Intercept)	9,8446
bookmaker	1,574
train station	0,6037
public transport platform	-0,0162
parking	-0,0242
emergency service	-0,0609
student dormitory	-0,0736
building university	-0,1765
financial service	-0,2538
sport hall	-0,2679
recreation ground	-0,2734
commercial consulting office	-0,3017
parks	-0,3497
art shop	-0,4126
industrial	-0,6294
recycling centre	-0,775
landuse industrial	-1,1232
<hr/>	
R2	0,6198
RSME	3,203
MAE	2,539

Valori OSM normalizzati per 5 mila abitanti

Successivamente, utilizzando le caratteristiche tratte da OSM come input del modello, viene applicato il modello stimato a livello provinciale con i coefficienti associati ai relativi predittori (Tabella 2.10) per dedurre il tasso di disoccupazione locale dei comuni di Roma. La Tabella 2.11 riassume i risultati ottenuti e fornisce un confronto tra i valori effettivi e quelli previsti, i rispettivi ranghi e la differenza tra loro. Dai risultati, è evidente che la metodologia LASSO basata su dati a livello provinciale e applicata a una scala spaziale inferiore per prevedere il tasso di disoccupazione tende a sovrastimare sistematicamente la variabile obiettivo per tutti i quindici comuni della città di Roma.

Tabella 2.11. Tasso di disoccupazione: valori effettivi, valori previsti Lasso e differenze di classificazione per i comuni di Roma

MUNICIPI	predict(model LASSO)	Unemployment rate	Rank Real	Rank Pred	Diff Rank (real - pred)
Municipio Roma II	8,08	6,30	1	2	-1
Municipio Roma I	6,55	7,10	2	1	1
Municipio Roma XII	10,87	7,70	3	4	-1
Municipio Roma VIII	17,76	7,70	3	15	-12
Municipio Roma IX	11,85	7,90	5	7	-2
Municipio Roma XV	12,77	8,40	6	9	-3
Municipio Roma VII	15,66	8,90	7	14	-7
Municipio Roma III	11,08	9,30	8	5	3
Municipio Roma XIII	12,11	9,30	8	8	0
Municipio Roma XI	10,60	9,40	10	3	7
Municipio Roma XIV	13,33	9,50	11	10	1
Municipio Roma V	14,55	10,20	12	13	-1
Municipio Roma X	13,64	10,40	13	12	1
Municipio Roma IV	11,50	10,70	14	6	8
Municipio Roma VI	13,47	12,10	15	11	4

Per cogliere l'utilità di un simile esercizio, si immagina che un policy maker richieda informazioni su quali aree del territorio che ricadono sotto la sua giurisdizione necessitino di un intervento prioritario o di uno stanziamento di fondi. Inutile dire che, per il suo processo decisionale, vorrà fare riferimento ad un ordinamento delle aree, in questo caso i Municipi di Roma, secondo priorità. Confrontando le classifiche ottenute, rispettivamente per valori effettivi e stimati, e la loro differenza, è possibile affermare che, ad eccezioni di quattro casi, le variazioni nella classifica tra tasso di disoccupazione effettivo e previsto sono limitate tra +4 e -3 posizioni. Vi sono però quattro deviazioni rilevanti nelle classifiche, vale a dire i municipi VII e VIII che, con il modello stimato, risultano retrocesse di -7 e -12 posizioni rispetto alla graduatoria effettiva, e le circoscrizioni XI e IV, che invece risultano promosse nel modello stimato rispettivamente di 7 e 8 posizioni (Tabella 2.11). Si è indagato più in profondità circa le possibili ragioni dietro queste maggiori differenze di rango (Reale vs Previsto). Le categorie OSM con maggiore importanza nel modello sono Bookmaker, aree ad uso industriale, POI classificati come adibiti alla raccolta differenziata. Dalla distribuzione dei dati, è possibile suggerire che un'elevata concentrazione di bookmaker nei Municipi VII e VIII emersa dall'elaborazione dalla mappa OSM possa essere la determinante principale alla sovrastima del tasso di disoccupazione per questi due municipi. L'analisi qui condotta suggerisce una potenziale applicazione dei dati OSM. Tuttavia, le evidenze emerse dal primo dei due case study presentati gettano alcuni dubbi sull'effettiva possibilità di adattare gli stessi risultati ottenuti diverse scale spaziali (livello provinciale, comunale o intra-metropolitano) senza alcun aggiustamento. Poiché le analisi di sensitività effettuate si riferiscono ad un'unica misura della ricchezza monetaria e del tasso di disoccupazione, i risultati ottenuti potrebbero dipendere dalla natura stessa delle variabili target. Pertanto, sono necessarie ulteriori ricerche ed estensioni per determinare se un modello basato sulle correlazioni osservate tra

le variabili input OSM e le statistiche ufficiali su una scala spaziale più elevata possa essere utilizzato per previsioni affidabili ad una scala più granulare. Anche in questo caso, andrebbero effettuati ulteriori controlli di robustezza, eventualmente ampliando il campione di unità spaziali e il set di indicatori target.

Questo lavoro si riferisce fondamentalmente all'approccio di selezione delle variabili attraverso il modello di regressione LASSO al fine di identificare in un processo *data driven* le caratteristiche OSM con il potenziale predittivo più elevato per indicatori di benessere. La regressione LASSO è un metodo comunemente utilizzato per la selezione delle variabili in un contesto ad alta dimensione, ma i risultati dipendono fortemente dal valore del parametro di penalità. Inoltre, si suppone che questa metodologia porti alla selezione di un gran numero di falsi positivi (Meinshausen e Bühlmann, 2006; Roberts e Nowak, 2014). A questo proposito, un metodo più conservativo per la scelta del termine di penalità è *l'Adaptive LASSO* in grado di rendere i risultati più affidabili restringendo l'insieme delle variabili ritenute significative (Ternès et al. 2016). *L'Adaptive LASSO* consiste nell'introdurre un peso specifico nella penalità attribuita dal modello. L'obiettivo è penalizzare meno i coefficienti più grandi rispetto a quelli più piccoli al fine di amplificare le differenze tra le stime dei coefficienti. In letteratura sono state proposte diverse procedure di stima dei pesi iniziali, senza che sia stato raggiunto un consenso. Nelle evidenze riportate di seguito, la scelta delle stime preliminari è caduta su una *ridge regression*. Per la variabile target Tasso di disoccupazione, la Tabella 2.12 mostra la selezione della variabile e i coefficienti ottenuti dalla regressione LASSO (modello *benchmark*) e quelli ottenuti dall'*Adaptive LASSO* su dati a livello provinciale.

Tabella 2.12. Risultati della regressione: confronto tra LASSO (modello benchmark) e LASSO Adattivo – Dati a livello provinciale. Variabile obiettivo: Tasso di disoccupazione 2021

LASSO		Adaptive LASSO	
regressor		regressor	
(Intercept)	9,8446	(Intercept)	11,75255
bookmaker	1,574	bookmaker	27,61745
train station	0,6037	train station	0,175579
public transport platform	-0,0162	financial service	-0,03045
parking	-0,0242	landuse industrial	-0,17616
emergency service	-0,0609	parking	-0,30941
student dormitory	-0,0736	commercial consulting office	-0,44255

building university	-0,1765	military building	-1,27511
financial service	-0,2538	recreation ground	-1,16683
sport hall	-0,2679	sport hall	-1,7475
recreation ground	-0,2734	art shop	-18,7483
commercial consulting office	-0,3017		
parks	-0,3497		
art shop	-0,4126		
industrial	-0,6294		
recycling centre	-0,775		
landuse industrial	-1,1232		

Misure OSM normalizzate per 5 mila abitanti

Confrontando i risultati ottenuti con i due metodi, emergono differenze nelle misure OSM ritenute significative oltre ad alcune importanti similitudini. Tra queste ultime, la variabile bookmaker rimane di fondamentale importanza per prevedere il tasso di disoccupazione, e il suo coefficiente positivo aumenta notevolmente (da 1,57 a 27,617). L'unico altro predittore OSM con una correlazione positiva con il tasso di disoccupazione rimane il numero di stazioni ferroviarie, ma il coefficiente associato diminuisce da 0,604 nel LASSO a 0,1756 nell'Adaptive LASSO.

Passando alle caratteristiche OSM con coefficiente negativo, in entrambi i modelli vengono selezionate diverse categorie, vale a dire *art shop*, *sport hall*, *recreation ground*, *commercial consulting office*, *parking*, *landuse industrial*, *financial*. Vale la pena notare che il LASSO adattivo mantiene la variabile *military* (edifici militari) come predittore rilevante, una categoria OSM che non è stata selezionata nel benchmark LASSO. Invece, il *recycling* (il numero di punti di raccolta per il riciclaggio dei rifiuti, compresi i punti di raccolta differenziata), che riportava il secondo coefficiente negativo per grandezza nel LASSO (-0,775), non è selezionato nell'Adaptive LASSO. Le differenze più importanti in termini di entità dei coefficienti sono evidenti tra le categorie OSM selezionate con una relazione negativa con la misura ISTAT. Nel Lasso Adattivo, *art shop* (numero di gallerie d'arte private e numero di negozi di articoli da collezione come francobolli, monete) riportano il coefficiente negativo più elevato, mentre quello relativo a *landuse industrial* (aree contrassegnate come industriali) (-0,176) diminuisce nella stima con LASSO Adattivo rispetto a quello ottenuto nel modello benchmark (-1,123) (Tabella 2.12). Il modello *Adaptive LASSO* è stato poi utilizzato per ricavare il tasso di disoccupazione per i quindici Municipi di Roma e valutarne le prestazioni predittive confrontando la classificazione prevista per la variabile target via OSM con quella effettiva.

Tabella 2.13. Tasso di disoccupazione: valori effettivi, valori previsti dall'Adaptive Lasso e differenze di ranking per i comuni di Roma

MUNICIPI	predict(model LASSO)	Unemployment rate	Rank Real	Rank Pred	Diff Rank (real - pred)
Municipio Roma II	9,53	6,30	1	3	-2
Municipio Roma I	9,19	7,10	2	1	1
Municipio Roma XII	9,60	7,70	4	5	-1
Municipio Roma VIII	17,61	7,70	3	15	-12
Municipio Roma IX	12,03	7,90	5	13	-8
Municipio Roma XV	10,27	8,40	6	9	-3
Municipio Roma VII	13,32	8,90	7	14	-7
Municipio Roma XIII	9,62	9,30	9	6	3
Municipio Roma III	10,03	9,30	8	7	1
Municipio Roma XI	9,55	9,40	10	4	6
Municipio Roma XIV	9,49	9,50	11	2	9
Municipio Roma V	12,02	10,20	12	12	0
Municipio Roma X	10,44	10,40	13	10	3
Municipio Roma IV	10,19	10,70	14	8	6
Municipio Roma VI	11,68	12,10	15	11	4

La Tabella 2.13 mostra che le previsioni ottenute con *Adaptive LASSO* hanno una minore variabilità rispetto alle previsioni LASSO (Cfr. Tabelle 2.11 e 2.13). Tuttavia, la capacità delle stime di mantenere la stessa classifica sembra essere peggiorata rispetto al LASSO. Il numero di differenze di rango tra i valori previsti e quelli effettivi che sono superiori/inferiori a quattro posizioni aumenta, da quattro a sei con *l'Adaptive LASSO*. A quelli precedentemente emersi IX (Municipi IV, VII, VIII, XI) nel LASSO come soggetti ad eccessive variazioni di rango vanno aggiunti i Municipi XIV IX. In sintesi, mentre l'applicazione dell'*Adaptive LASSO* modifica l'insieme delle categorie OSM selezionate, portando alla loro rimozione dal modello, vale la pena sottolineare come l'evidenza legata alla numerosità delle agenzie di scommesse trovi conferma anche con l'applicazione di questa metodologia (Tabella 2.12). Per quanto riguarda la trasferibilità del modello LASSO adattivo dal livello provinciale alla scala subcomunale, è possibile suggerire che il potere predittivo sia maggiore nel LASSO rispetto al LASSO Adattivo. Infatti, nell'applicazione con i Comuni di Roma, il modello *Adaptive LASSO* produce differenze di rango tra valori previsti e reali maggiori rispetto al LASSO (modello benchmark) (Tabella 2.13).

2.9 CONCLUSIONI E SPUNTI PER LA RICERCA FUTURA

Per favorire l'efficacia dell'azione pubblica in un'ottica di *accountability*, le politiche pubbliche e la pianificazione regionale devono essere accompagnate da processi di monitoraggio, rendicontazione e valutazione orientati ai risultati. Informazioni trasparenti e spazialmente dettagliate sono estremamente importanti per supportare il processo decisionale collettivo e sviluppare politiche basate sull'evidenza. Le nuove tecniche per estrarre metriche dai dati OSM presentano vantaggi significativi rispetto alle fonti tradizionali, consentendo di valutare i progressi nella resilienza economica dei territori, esulando dalla rigidità spaziale imposta dai confini amministrativi.

In Italia, ancora oggi la maggior parte degli strumenti di valutazione è applicata a scale geografiche inadeguate per l'analisi microterritoriale (comunale o intraurbana). Per migliorare la capacità di comprendere le dinamiche dei sistemi locali è importante basarsi su dati a fine granularità spaziale a scala sub-regionale.

Questo lavoro ha voluto indagare se i dati OSM, analizzati simultaneamente e in modo coerente, consentano di giungere ad un'immagine razionale delle condizioni economiche, sociali e ambientali di un territorio. I risultati fin qui mostrati suggeriscono come le informazioni estratte da fonti di dati alternative, ovvero i dati OSM, siano fortemente paragonabili ai dati estratti dagli uffici statistici nazionali (ISTAT). Come primo contributo per l'Italia, questo lavoro conferma i risultati precedenti riguardo un'elevata correlazione tra i dati OSM e gli indicatori tradizionali di benessere in Germania e Polonia (Feldmeyer et al., 2020, Kopczewska, 2022, Wójcik e Andruszek, 2022). Alla luce delle evidenze qui prodotte è interessante notare che alcune categorie OSM, come i *bookmakers*, possono essere considerate uno strumento utile sia per i professionisti che per i *policy makers* per una rapida valutazione dei territori più vulnerabili di un paese/regione. Dal presente studio emergono spunti interessanti su come le variabili socioeconomiche si manifestano nei dati OSM. Le applicazioni fornite nel presente lavoro rivelano vantaggi e possibilità, oltre ad alcune questioni controverse che andrebbero affrontate nella ricerca futura.

In primo luogo, nonostante il potenziale utilizzo per la valutazione di un'ampia gamma di fenomeni socioeconomici a un livello senza precedenti di risoluzione temporale e spaziale, l'uso di nuove fonti di dati è limitato dalla qualità degli stessi. In particolare, il limite fondamentale delle analisi basate su dati OSM è il contributo spazialmente sbilanciato, che si traduce in una copertura spaziale e una densità di informazioni eterogenee. Per l'Italia, sebbene alcuni lavori abbiano già prodotto risultati divergenti circa la completezza dei dati OSM, vi è un generale un consenso sulla discrepanza tra località rurali e urbane. Pertanto, è evidente che le analisi sulle disparità spaziali basate sui dati OSM possono portare a risultati distorti e inaffidabili. A questo proposito, dovrebbe essere studiato se le

soglie di copertura o anche l'assenza dei dati OSM stessi possano essere utilizzati come predittori in questo contesto, come suggerito da Feldmayer et al. (2019). In secondo luogo, molti lavori basati sull'uso dei dati OSM sollevano il problema di come gestire i valori estremi. Pertanto, la copertura spaziale eterogenea o la limitazione del campionamento rischiano di inficiare i risultati delle analisi spaziali condotte nel contesto della pianificazione e valutazione delle politiche.

I progressi futuri includono l'applicazione di strumenti di apprendimento automatico o altri metodi di analisi per comprendere meglio le dinamiche socioeconomiche e convalidare possibili miglioramenti nella capacità predittiva. Sarebbe inoltre estremamente importante comprendere meglio la scalabilità dell'approccio sviluppato in questo lavoro, ovvero la possibilità di applicare il metodo a una granularità spaziale più elevata, come la scala territoriale comunale. A questo proposito, la sezione 2.8 fornisce un esempio basato sul "reddito ante imposte", una variabile obiettivo disponibile in Italia sia a livello provinciale che comunale. Tuttavia, la mancanza di una serie completa di obiettivi con cui confrontare le prove fornite rappresenta il maggiore ostacolo all'implementazione di un modello sistematico su scala inferiore, soprattutto in alcuni paesi. Un'altra linea cruciale di sviluppo consiste nel verificare l'uso delle *proxy* OSM per prevedere gli indicatori tradizionali utilizzando dati OSM storici quando i dati ufficiali desiderati sono obsoleti. Infatti, forti correlazioni tra i dati OSM e gli indicatori tradizionali non implicano lo stesso livello di associazione tra i cambiamenti nei dati OSM e i cambiamenti in tali indicatori, in particolare per quelle caratteristiche OSM che sono altamente persistenti nel tempo, come le stazioni ferroviarie o altre infrastrutture di trasporto. Pertanto, la ricerca futura in questo campo dovrà esaminare più da vicino il legame tra le variazioni degli indicatori tradizionali e i cambiamenti nelle caratteristiche OSM, per fornire prove convincenti che la correlazione eventualmente trovata possa essere utilizzata per prevedere cambiamenti a breve termine nelle statistiche tradizionali. Infine, i tag OSM esaminati nel lavoro sono solo una parte di tutti quelli accessibili, e le metriche target selezionate non includono aree di potenziale rilevanza, come i prezzi immobiliari, le misure di disuguaglianza e la distribuzione della ricchezza. Solo attraverso ulteriori applicazioni sarà possibile appieno le prestazioni predittive delle funzionalità OSM.

Nonostante le preoccupazioni sulla qualità dei dati e tenendo presenti queste avvertenze, in un'era di incertezza legata alla crescente pervasività di fenomeni complessi, OSM potrebbe fungere da fonte di informazioni in tempo reale sui cambiamenti socioeconomici che si verificano in un territorio. Dati locali aggiornati fornirebbero ai policy maker l'opportunità di prendere decisioni tempestive che altrimenti sarebbero più difficili da gestire.

CAPITOLO III: SOPRAVVIVERE ALLA PANDEMIA: UN'INDAGINE SUI FATTORI DI RESILIENZA DELLE IMPRESE MANIFATTURIERE ITALIANE

Il lavoro presentato in questo terzo capitolo indaga le caratteristiche aziendali e di contesto che hanno influenzato la capacità delle imprese manifatturiere italiane di reagire alla crisi economica indotta dalla pandemia da COVID-19. Le variabili considerate attengono sia all'organizzazione interna (dimensione, età, appartenenza ad un gruppo, capitalizzazione, redditività, produttività, struttura delle scadenze del debito, ...) sia a fattori ecosistemici. Le evidenze rilevano come le microimprese, le imprese fortemente indebitate così come quelle meno produttive hanno riscontrato una maggiore probabilità di uscita dal mercato. L'appartenenza ad un gruppo, una bassa esposizione debitoria, una bassa incidenza di debito a breve termine e la presenza di un canale digitale hanno favorito invece la sopravvivenza delle imprese. I risultati dell'analisi suggeriscono che, la localizzazione in un cluster industriale riduce significativamente la probabilità di uscita durante la crisi solo quando sono l'area è specializzata in settori ad alta intensità di conoscenza. Infine, viene confermato il ruolo delle politiche di lockdown sulla sopravvivenza delle imprese.

3.1 INTRODUZIONE

La crisi economica causata dalla pandemia da Covid-19 ha sconvolto interi settori dell'economia globale nel corso del 2020 e del 2021. Le catene del valore e di fornitura sono state pesantemente colpite e le imprese hanno risposto ricercando ed implementando nuove soluzioni. A tre anni dallo scoppio della pandemia, le principali economie avanzate hanno recuperato i livelli di produzione pre-shock, anche grazie a significative misure di finanza pubblica. L'Italia è stata tra i paesi più colpiti dal punto di vista sanitario ed è stata tra i primi ad attuare misure di contenimento, su tutti i lockdown. Queste misure hanno inevitabilmente causato una contrazione dell'economia italiana e cambiamenti radicali nell'operatività delle imprese oltre che nel comportamento dei consumatori.

Questo lavoro si concentra sul comportamento delle imprese in risposta all'enorme shock esogeno legato al COVID-19 che ha avuto conseguenze durature sia sul lato della domanda che quello dell'offerta dell'economia. L'assunto di base è che la crisi economica offra un'opportunità per ciò che Schumpeter ha definito la "distruzione creativa". Le aziende sono state tutte colpite dalla crisi allo stesso modo, oppure le imprese meno efficienti hanno maggiori probabilità di uscire o ridimensionare le proprie attività, "ripulendo" il mercato? Nell'analisi sulla capacità di un'impresa di far fronte alle

crisi vengono tradizionalmente considerati due insiemi di fattori: le caratteristiche specifiche dell'impresa (fattori interni) e le caratteristiche ambientali (fattori esterni). Per l'analisi che verrà presentata in questo capitolo, utilizzando i dati a livello di impresa provenienti dal database AIDA-Bureau van Dijk, si analizzeranno quali fattori specifici dell'impresa e quali contestuali possono aver contribuito a determinare l'uscita delle imprese italiane dal mercato a seguito dello shock pandemico. In particolare, la sopravvivenza delle imprese nel 2022 sarà legata alle caratteristiche economiche e finanziarie interne delle imprese (dimensione, settore, performance economica e finanziaria) nella finestra temporale precedente allo scoppio della pandemia e a fattori esterni legati all'ambiente nel quale operano le imprese. Le evidenze ottenute suggeriscono che processi di ristrutturazione sono in corso tra le microimprese, nella classe dimensionale in cui sembra ci sia stato anche un effetto purificatore di tipo schumpeteriano. In particolare, le microimprese, e le imprese meno produttive registrano una maggiore probabilità di uscita dal mercato. La sopravvivenza delle imprese è legata principalmente dall'appartenenza a gruppi, ad un basso rapporto debito/patrimonio nel periodo antecedente la crisi e alla presenza di un canale digitale aziendale. Nelle successive sezioni del capitolo sarà prima presentata una panoramica dei contributi precedenti sull'argomento, successivamente sarà descritta la strategia empirica e i dati impiegati nell'analisi, saranno poi presentati e discussi i risultati dell'analisi.

3.2 CONTESTO DELL'ANALISI, MOTIVAZIONE E REVISIONE DELLA LETTERATURA

Capire perché alcune aziende sopravvivono mentre altre falliscono è una questione di ricerca centrale negli studi di economia applicata e management. La letteratura sulla sopravvivenza delle imprese ha acquisito slancio dopo la crisi finanziaria globale. La produzione sull'argomento è vasta, e verranno di seguito citati i lavori recenti che si sono concentrati sulla sopravvivenza delle imprese dopo la crisi finanziaria globale e la crisi economica indotta dalla pandemia di COVID-19, con una particolare attenzione all'Italia. Il caso dell'Italia è particolarmente interessante per due ragioni principali. In primo luogo, è stato tra i paesi più colpiti in termini sanitari ed economici dal COVID-19. In particolare, l'Italia è stata il secondo paese a livello globale gravemente colpito dalla diffusione del virus e il primo in Europa, con modelli di diffusione precoce del virus altamente concentrati e spazialmente persistenti (Cutrini e Salvati, 2021), almeno rispetto ai paesi vicini (Guibourg, 2020). In secondo luogo, è stato tra i primi paesi a reagire con un primo lockdown a livello nazionale e un secondo ciclo di blocchi regionali differenziati (scala territoriale NUTS-2) per intensità e durata delle

misure di contenimento. Alla prima emergenza sanitaria sono seguiti numerosi interventi messi in atto dal governo italiano già a partire da marzo 2020 per sostenere le imprese danneggiate dalla pandemia che potrebbero aver esercitato un potente effetto mitigante sull'economia (Orlando e Rodano, 2020). Il calo della domanda interna ed estera ha portato ad un'improvvisa carenza di liquidità e ha seriamente limitato la capacità delle imprese di finanziare le proprie attività. Sono state quindi adottate misure straordinarie per sostenere la liquidità delle imprese, per sopportare l'impatto delle difficoltà finanziarie e per sostenere l'attività imprenditoriale. La domanda di credito, spinta dal calo dei tassi di interesse e dagli incentivi agli investimenti nel periodo 2018-2020, è aumentata ulteriormente nel 2020 da quando il Governo è intervenuto per garantire il credito e sostenere la ricerca di liquidità, la necessità di ristrutturazione del debito e di rimborso dei debiti precedenti (Istat, 2021). Nell'analisi qui presentata non è stato possibile tenere conto di questi interventi data la loro eterogeneità e la difficoltà nel reperire dati in grado di rendicontare almeno a livello di settore la magnitudo delle misure. Approfondirne l'impatto e darne conto nel contesto di questa analisi di sopravvivenza rappresenta uno dei principali filoni di sviluppo del lavoro.

Fattori quali la capitalizzazione sono fondamentali per comprendere le capacità di sopravvivenza delle imprese a crisi come quella innescata dal COVID-19. In Italia la crisi d'impresa si identifica sostanzialmente con la sottocapitalizzazione dell'impresa (ovvero quando l'impresa presenta un livello di patrimonio netto inferiore al limite legale). Orlando e Rodano (2020) suggeriscono come la sottocapitalizzazione spesso anticipi l'uscita dell'impresa dal mercato: circa il 60% delle imprese in tale condizione cessa l'attività entro 3 anni. Secondo le loro previsioni, nel periodo pandemico e post pandemico il numero di imprese che potrebbero essere coinvolte nelle procedure di *early warning* potrebbe essere quasi il doppio di quanto prevedibile sulla base dei dati contabili del 2018. Alcuni studi recenti forniscono prove basate su dati a livello aziendale sul comportamento delle aziende italiane durante la crisi del Covid-19. Costa et al., (2022) hanno mostrato come la struttura organizzativa precrisi sia importante e che la crisi non dovrebbe essere considerata semplicemente una crisi purificatrice e di miglioramento della produttività, che colpisce solo le piccole imprese improduttive ("zombie"). Nel medio periodo, potrebbe rivelarsi una forte spinta riorganizzativa in grado di colpire anche il segmento di imprese più produttivo e avanzato, portando così ad una profonda riconfigurazione del sistema industriale italiano, sia in termini di composizione settoriale che in termini di capacità organizzative delle imprese. Balduzzi et al. (2020), utilizzando dati sulle aspettative e sui piani delle imprese italiane prima e immediatamente dopo lo scoppio della pandemia, indagano il ruolo svolto dai vincoli creditizi per spiegare gli effetti economici della pandemia di COVID-19 in Italia. Evidenziano come la maggior parte delle imprese abbia rivisto al ribasso le

proprie aspettative su vendite, ordini, occupazione e investimenti, aggiornando al contempo al rialzo le proprie aspettative sull'inflazione. Questi effetti sono relativamente più stringenti per le imprese con forti vincoli di credito. Gli autori sottolineano che la dimensione degli effetti è eterogenea a seconda dei settori e delle regioni. I vincoli creditizi amplificano gli effetti sulla domanda e sulle vendite degli shock legati al Covid-19 sulle imprese, già particolarmente preoccupate dalla ricerca e dalla disponibilità di liquidità. Ferragina e Iandolo (2022) forniscono le prime prove su come le imprese italiane hanno risposto alla chiusura di una quota significativa delle attività economiche. Gli autori hanno misurato l'esposizione di ciascuna azienda alla pandemia, ovvero la misura in cui le aziende hanno risposto alle sfide della pandemia e il livello di esposizione agli shock della domanda e/o dell'offerta legati al COVID-19. I modelli di evoluzione temporale dell'esposizione, del rischio e del sentiment al COVID nel 2020 mostrano grandi differenze tra regioni geografiche, settori e aziende (ad esempio, il settore tecnologico rispetto al settore dei trasporti, dove si è verificato un crollo senza precedenti della domanda). Pur non rilevando una diminuzione della liquidità durante la pandemia, si evidenzia il ruolo cruciale di diverse condizioni finanziarie e strutturali nel modellare le aspettative delle imprese. I principali risultati suggeriscono che il COVID-19 ha aumentato l'incertezza a livello di impresa, peggiorato le prospettive economiche della maggior parte delle aziende e influito sul comportamento creditizio. Si segnala inoltre una variazione nell'esposizione debitoria delle imprese italiane e in altri indicatori sullo stato delle attività (ROE e ROI) con l'esposizione all'epidemia di COVID-19 che ha portato ad un aumento del debito totale delle imprese italiane. Anche il rischio percepito è correlato positivamente con la posizione debitoria delle imprese, ma la maggiore incertezza che le imprese hanno sviluppato rispetto al futuro ha portato alla loro scelta di ridurre i debiti a breve termine in favore di maggiori esposizioni al debito a lungo termine. Il rischio percepito legato al COVID-19 ha una correlazione negativa con la redditività sia industriale che patrimoniale a causa dell'aumento dei costi (sia commerciali che finanziari) cui non corrisponde un aumento dei ricavi.

L'importanza del comportamento creditizio delle imprese italiane durante la pandemia è stata riconosciuta da ulteriori contributi basati su indagini condotte presso le imprese (ad esempio, ISTAT, 2021). Tuttavia, vi sono anche prove di risposte eterogenee alla crisi COVID-19. Secondo l'ISTAT (2022) le imprese italiane possono essere raggruppate in tre categorie a seconda del percorso che hanno attraversato durante crisi. Il primo gruppo è stato colpito da effetti importanti immediati, adottando strategie prima difensive, poi espansive (gruppo denominato di "Sofferenza Reattiva", 33% del campione totale). Hanno prima riorganizzato le filiere e diminuito l'occupazione, poi hanno reagito attraverso innovazioni, attivazione di rapporti produttivi, ricerca di modelli di Industria 4.0,

formazione del personale. Il secondo gruppo ha subito effetti negativi moderati e non ha sviluppato alcuna strategia di reazione (gruppo “Resistenza statica”, 50%) e un terzo gruppo è stato caratterizzato da effetti negativi a breve termine e una reazione tempestiva ed efficace (gruppo “Resilienza di successo”, 17%). La riuscita resilienza del terzo gruppo ha comportato un’accelerazione di strategie espansive spesso già presenti nel periodo pre-crisi (adozione di tecnologie 4.0, riorganizzazione dei processi, innovazione, investimento in capitale umano). Ai fini della presente analisi, vale la pena sottolineare che in Italia gli investimenti delle imprese nella digitalizzazione hanno subito un’accelerazione durante la prima fase della crisi ma si sono concentrati più sulla comunicazione interna che sull’e-commerce: “Tra maggio e novembre 2020, è aumentata vertiginosamente la quota di aziende che hanno adottato tecnologie che facilitano la comunicazione interna o permettono di soddisfare le esigenze di distanziamento sociale (software di videoconferenza, laptop e tablet, cloud); più limitata è la diffusione delle tecnologie legate al pagamento elettronico (*cashless* e pagamenti online) e alla commercializzazione di beni e servizi (uso di piattaforme digitali, *e-commerce*)” (traduzione propria, p. 83, ISTAT, 2022).

Al di fuori dell’Italia, diversi studi hanno già tentato di studiare la sopravvivenza delle imprese nel contesto della crisi pandemica. Nel complesso, le dimensioni, l’età e i vincoli finanziari sono considerati fattori importanti per l’uscita dell’impresa. Chemmanur et al. (2022) studia come e in che misura la responsabilità sociale d’impresa (CSR) influisce sulla sua probabilità di sopravvivenza a lungo termine. Gli autori forniscono la prova che l’impegno di un’impresa nelle attività di CSR sia stato particolarmente cruciale per aumentare la probabilità di sopravvivenza dell’impresa durante la pandemia. Hanno inoltre stabilito che una migliore performance finanziaria, vincoli finanziari meno stringenti, una maggiore disciplina manageriale e una maggiore produttività del lavoro sono alcuni dei fattori attraverso i quali le aziende impegnate in una maggiore attività di CSR raggiungono tempi di sopravvivenza più lunghi. Muzi et al. (2022) suggeriscono che la crisi economica indotta dalla pandemia di COVID-19 mostra gli effetti di un “*cleaning*” di tipo schumpeteriano delle imprese meno produttive e delle piccole imprese. Essi mostrano come le imprese innovative e quelle con presenza di canali digitali hanno una minore probabilità di chiudere definitivamente durante la crisi, suggerendo che sia in atto un processo di eliminazione delle attività improduttive. Inoltre, secondo i loro risultati, esiste una relazione negativa tra l’uscita dell’impresa e l’età.

L’analisi di Acharya e Steffen (2020), basata sui dati sui prelievi giornalieri delle linee di credito a livello di impresa negli Stati Uniti, rivela l’impatto significativo del rischio di credito sulle disponibilità liquide aziendali nel comportamento delle imprese osservate. Nella prima fase della crisi, caratterizzata da estrema cautela e aumento del rischio aggregato, tutte le aziende hanno ridotto

le linee di credito bancarie e aumentato i livelli di liquidità. Nella seconda fase, che ha fatto seguito all'adozione delle politiche di stabilizzazione, solo le aziende con il rating più elevato si sono rivolte ai mercati dei capitali per raccogliere liquidità. Chundakkadan et al. (2022) confermano ulteriormente che la pandemia da coronavirus 2019, a livello economico ha gravemente colpito le piccole e medie imprese (PMI) con vincoli finanziari. La loro analisi si è concentrata sull'impatto delle politiche rivolte alle PMI, comprendendo 34 paesi. I risultati suggeriscono che i programmi di sostegno governativo hanno consentito soprattutto alle imprese con vincoli finanziari di sopravvivere. Inoltre, le imprese finanziariamente più vincolate risultano avere maggiore probabilità di licenziare i lavoratori. In linea con l'idea che le condizioni finanziarie siano importanti affinché le aziende possano affrontare la crisi economica, Bozkurt et al. (2022) studiano i fattori cruciali specifici dell'azienda che hanno avuto un impatto sulle difficoltà finanziarie e sul fallimento nella fase acuta della crisi Covid-19. Essi hanno riscontrato una maggiore probabilità sia di fallimento che di difficoltà finanziarie per le aziende che avevano problemi di accesso ai finanziamenti, per le aziende più giovani e per le aziende più indebitate. Inoltre, anche le dimensioni dell'impresa e gli anni di esperienza dei suoi dirigenti sembrano influire sul fallimento finanziario dell'impresa. Goel et al. (2022) nel loro lavoro si sono concentrati sul ruolo delle donne manager e della proprietà femminile dell'impresa. I risultati suggeriscono che le imprese con proprietà femminile riscontrano meno probabilità di uscire dal mercato mentre le imprese con manager donna sono più propense a farlo, anche se per questa seconda evidenza i risultati non sono robusti dal punto di vista statistico. Gli autori aggiungono evidenze circa il fatto che le imprese più grandi e più vecchie hanno una minore probabilità di cessare definitivamente l'attività. Infine, lo studio rileva che le imprese situate in nazioni ad alta urbanizzazione e quelle situate in nazioni con governi meno efficienti hanno una maggiore probabilità di uscita, mentre è vero il contrario nelle nazioni con una migliore governance. Lo studio di El-Haddad e Zaki (2023) focalizzato sull'industria egiziana esamina le determinanti della resilienza delle imprese durante la pandemia. Gli studiosi trovano sostegno all'ipotesi Shumpeteriana sull'effetto "pulitore" della crisi economica indotta dal COVID-19. Suggeriscono infatti che le imprese private, più piccole e informali hanno maggiori probabilità di cessare. Inoltre, mostrano che le imprese isolate, situate al di fuori di zone industriali, hanno una maggiore probabilità di uscita. Analogamente le caratteristiche comportamentali pre-COVID sono importanti per le dinamiche d'impresa durante la pandemia. È interessante notare che gli autori evidenziano, dinamiche specifiche di settore. Il settore alimentare, ad esempio, ha mostrato una vulnerabilità inferiore rispetto ad altri. L'analisi suggerisce inoltre che le caratteristiche comportamentali variano anche in base alle dimensioni dell'impresa, oltre che in base al settore di appartenenza.

Per quanto riguarda le due variabili di controllo di base, quali dimensione ed età di impresa, è importante verificare eventuali non linearità nell'associazione tra le stesse e la sopravvivenza dell'impresa, come sostenuto da Landini et al. (2020). A tal proposito i risultati precedenti hanno trovato un'associazione positiva tra età e sopravvivenza anche se in alcuni casi si osserva una relazione a U invertita, con la probabilità di sopravvivere che aumenta appena dopo l'ingresso dell'impresa sul mercato e diminuisce negli anni successivi (Audretsch e Mahmood, 1994; Wagner, 1994).

3.3 DATI E PROCESSO DI DATA QUALITY & PREPARATION

L'analisi sulla sopravvivenza delle imprese manifatturiere italiane alla crisi pandemica si avvale di dati d'impresa di fonte AIDA Bureau Van Dijk. Il database AIDA - la sezione italiana del Bureau Van Dijk - si basa sui dati ufficiali recuperati dal Registro delle Imprese italiano e dalle Camere di Commercio italiane. Esso contiene informazioni disaggregate sullo stato patrimoniale e sul conto economico di circa 540.000 aziende italiane con fino a dieci anni di storia.

Dal database AIDA-Bureau van Dijk (AIDA-BvD) si possono ricavare diversi microdati: informazioni sulle caratteristiche dell'impresa, come l'ubicazione, il settore, l'età, la forma giuridica, la struttura proprietaria e di governance (ad esempio il nome degli azionisti e membri del Consiglio di amministrazione, le quote di proprietà). Inoltre, il database contiene informazioni sullo stato attuale delle imprese (attive vs. non attive vs. fuse vs. acquisite), queste ultime informazioni sono state utilizzate per distinguere tra imprese sopravvissute e cessate, come sarà spiegato nel dettaglio nel corso di questa sezione del lavoro.

Con l'intento di ottenere il miglior dataset per le finalità dell'analisi il processo di *data quality* si è svolto in tre fasi:

- 1) Innanzitutto, sono state escluse tutte le osservazioni, per le quali lo status giuridico dell'impresa risultava come "Cessato (fusione)" o "Cessato (Divisione)", o per le quali la ragione sociale non era disponibile. Al fine di evitare distorsioni rispetto ad alcune variabili considerate, sono state poi eliminate dal dataset tutte le aziende con età di vita inferiore o uguale a 4 anni, ritenendole troppo giovani e quindi non adeguatamente strutturate a causa della recente fondazione rispetto allo scoppio della crisi presa in esame. L'ipotesi a sostegno dell'eliminazione di queste osservazioni è che le imprese nate a ridosso della pandemia

costituiscono, per loro stessa natura e vicinanza allo shock, un gruppo di imprese non coerente con l'oggetto dell'analisi.

- 2) Sono state quindi selezionate solo le società con forma giuridica a responsabilità limitata, ovvero SPA, SRL, SRL a socio unico, SRL semplificata. Secondo la normativa italiana, tali forme giuridiche societarie sono quelle in grado di garantire dati patrimoniali attendibili per la maggior parte delle voci finanziarie e contabili.
- 3) Infine, il dataset è stato ulteriormente ridotto selezionando solo le società con il bilancio disponibile più recente in uno degli ultimi tre anni (2020, 2021, 2022).

Il processo di *data quality* qui descritto è stato sviluppato su un dataset che inizialmente era costituito da 137.936 osservazioni di imprese manifatturiere con sede legale (*headquarters*) situata in Italia presenti nel database AIDA-BvD. Ultime le fasi di *data quality* il dataset conta 112.879 aziende ancora incluse nel set di dati, di cui 101.359 risultano con l'ultimo bilancio disponibile al 2021, 10.660 con l'ultimo bilancio al 2020 e 860 aziende con l'ultimo bilancio del 2022. Rispetto allo stato di attività il dataset è composto da 104.250 imprese attive, mentre le restanti 8629 sono classificate come "Default" facendo registrare quindi un "*raw exit rate*" del 7,64%. Sono state classificate come "Default" le imprese il cui stato giuridico nel database AIDA-BvD è riportato con una delle seguenti specificazioni: "Cessata", "Cessata – chiusura per fallimento", "Cessata in liquidazione", "In liquidazione" o "Impresa attiva in stato di insolvenza".

La Tabella 3.1 riporta i tassi di default delle imprese manifatturiere italiane per regione (Tabella 3.1 A) e per classe dimensionale (Tabella 3.1 B). I tassi di default sono superiori alla media in Toscana (10%), Puglia (10,4%), Campania (8,85%), Marche (8,18%) e Umbria (8%), tra gli altri. Tassi di default inferiori alla media si riscontrano invece, tra gli altri, in Veneto (5,97%), Piemonte (6,35%), Lombardia (6,89%), Emilia-Romagna (6,95%) e Abruzzo (7,5%).

È interessante notare la variazione sostanziale del tasso di default tra le classi dimensionali (Tabella 3.1 B). I tassi di default sono particolarmente elevati per le microimprese (11,89%) mentre sono significativamente più bassi per le piccole imprese (1,91%), le medie imprese (1,06%) e le grandi imprese (0,30%). Questo risultato non appare viziato da una copertura sbilanciata per classe dimensionale del campione iniziale rispetto alla popolazione di riferimento. A questo proposito, è

importante notare che le società a responsabilità limitata con meno di 10 dipendenti sono solo leggermente sottorappresentate nella distribuzione del campione per classe dimensionale rispetto alla popolazione di riferimento, mentre i pesi delle altre classi dimensionali sono quasi uguali alle quote analoghe nella popolazione di riferimento (Tabella 3.1 C).

Tabella 3.1. Tasso di default delle imprese manifatturiere italiane

(A): Tasso di default per regioni

	N. imprese	Exited	Default rate %
Abruzzo	2388	179	7.50
Basilicata	612	57	9.31
Calabria	1360	133	9.78
Campania	7420	657	8.85
Emilia Romagna	11848	823	6.95
Friuli Venezia Giulia	2472	161	6.51
Lazio	5760	526	9.13
Liguria	1318	124	9.41
Lombardia	28375	1956	6.89
Marche	4915	402	8.18
Molise	353	26	7.37
Piemonte	7938	504	6.35
Puglia	4873	509	10.45
Sardegna	1114	89	7.99
Sicilia	3640	356	9.78
Trentino Alto Adige/Südtirol	1521	78	5.13
Toscana	9862	990	10.04
Umbria	1749	140	8.00
Valle d'Aosta	89	7	7.87
Veneto	15272	912	5.97
Italia	112879	8629	7.64

(B): Tasso di default per classe dimensionale d'impresa

	N. imprese	Exited	Default rate %
Microimprese	62623	7448	11,89
Piccole imprese	38699	738	1,91
Medie imprese	7634	81	1,06
Grandi imprese	3923	362	0,30
Dimensione non disponibile	2908	359	12,35
Totale	112879	8629	7,64

(C) Rappresentatività del campione rispetto alla popolazione di riferimento delle imprese manifatturiere

	N. imprese dataset	%	Popolazione imprese di riferimento*	%
Microimprese	62623	55.5	81443	59.3
Piccole imprese	38699	34.3	45752	33.3
Medie imprese	7634	6.8	8842	6.4
Grandi imprese	1015	0.9	1318	1.0
Dimensione non disponibile	2908	2.6		
Totale	112879	100	137355	100

Un altro passo essenziale al fine di ottenere un dataset con una qualità informativa adeguata all'analisi è legato al trattamento dei valori estremi. In questo caso, il *trade-off* che si è dovuto affrontare riguardava l'eliminazione dei valori estremi senza però incorrere in un elevato numero di osservazioni rimosse. A questo scopo, la procedura scelta è stata quella di calcolare, per ciascuna variabile esplicativa, il 1° e il 99° percentile e sottrarre, aggiungere, rispettivamente ad essi 1,5 volte l'intervallo interquartile (IQR), una misura della dispersione dei dati rappresentata dall'intervallo di valori che si estende dal primo quartile (25° percentile) al terzo quartile (75° percentile) di una distribuzione dei dati. Questo calcolo aiuta a eliminare i valori estremi inferiori/superiori al limite inferiore/superiore calcolato. Dopo aver trattato i valori estremi, il campione delle nostre analisi è composto da 84.309 osservazioni, di cui 2.302 uscite dal mercato e le restanti che sono ancora in attività al 2022, con un tasso di uscita pari al 2,73%.

Sia che l'impresa abbia cessato di esistere durante la pandemia o sia ancora attiva, l'analisi effettuata si riferisce agli anni 2020, 2021, 2022. L'obiettivo è analizzare come si sono comportate le imprese

durante la crisi COVID-19. Nello specifico, lo scopo è quello di studiare la loro capacità di reazione allo shock indagando le relazioni tra le caratteristiche economico-finanziarie specifiche dell'impresa nel periodo precrisi e la sua probabilità di uscita dal mercato negli anni successivi contraddistinti dalla pandemia. Di interesse è studiare anche il ruolo dei fattori esterni come determinanti aggiuntivi dell'uscita dell'impresa, quali l'industria, l'appartenenza a gruppo o ad un contratto di rete e il contesto geografico in cui l'impresa è situata. A questo scopo, la banca dati AIDA-BvD è stata incrociata con le informazioni di Infocamere. Altre informazioni di contesto sul tessuto produttivo locale sono state raccolte attingendo alla classificazione dei Sistemi Locali del Lavoro (SLL) e in distretti industriali (ISTAT, 2015) elaborati dall'Ufficio statistico italiano (ISTAT). La tabella A3.1 in Appendice contiene una descrizione dettagliata delle variabili esplicative e di controllo utilizzate nell'analisi e le rispettive fonti dei dati.

3.4 STRATEGIA EMPIRICA

Lo scopo di questa analisi è quello di indagare le caratteristiche delle imprese, le caratteristiche dell'ambiente locale ed altri fattori esogeni che hanno maggiormente influenzato la probabilità di uscita dal mercato durante la crisi economica indotta dalla pandemia di COVID-19. La probabilità di uscita dell'impresa è modellizzata in relazione a due tipi principali di condizioni iniziali precrisi: variabili legate alle caratteristiche interne e variabili che catturano fattori esterni. Da un lato, vengono analizzate variabili specifiche dell'impresa, come età, dimensione, grado di indipendenza finanziaria, esposizione al debito a breve termine e vari indicatori di performance di redditività, produttività e presenza di un canale digitale. Dall'altro, si considerano le caratteristiche dell'ecosistema in cui l'impresa è inserita, come l'industria di appartenenza o la presenza di un ambiente innovativo nel sistema locale del lavoro (SLL). Le variabili associate alle condizioni esterne all'impresa sono trattate come fattori di controllo nell'analisi. Rispetto al settore di appartenenza è stata costruita una variabile dicotomica, dummy, aggregando le divisioni della classificazione ATECO 2007 a 2 cifre in 17 raggruppamenti considerati omogenei, seguendo il metodo utilizzato in Corsini e Pitingaro (2022). La definizione dei raggruppamenti settoriali è disponibile nell'Appendice (Tabella A 3.2).

Formalmente, la regressione di base in questo lavoro stima il seguente modello probit:

$$Exit_{ijr,t} = \beta_0 + \beta'_1 X_{ijr,t-1} + \beta'_2 Z_{r,t-1} + \beta'_3 D_j + \varepsilon_{ijr} \quad (1)$$

Dove il pedice i indica l'impresa, j il raggruppamento settoriale e r la regione in cui è localizzata l'azienda. Nel modello la variabile dipendente è binaria con valore predefinito uguale a 1 per il caso "default" o altrimenti e presuppone che la probabilità di un risultato positivo sia determinata dalla funzione di distribuzione cumulativa normale standard. $X_{ijr,t-1}$ nell'equazione (1) è un vettore di variabili esplicative specifiche dell'impresa mentre $Z_{r,t-1}$ è un vettore di variabili di controllo dell'ecosistema che rappresenta l'ambiente in cui opera l'impresa. Gli altri termini sono i seguenti: D_j è un insieme di dummy settoriali (effetto fisso del settore) e ε_{ijr} è il termine di errore abituale. All'interno del vettore $X_{ijr,t-1}$, sono considerate innanzitutto le variabili economiche e finanziarie di base, come dimensione, età, dipendenza finanziaria, rollover (ovvero, incidenza del debito a breve termine), rendimento sulle attività (ROA), rendimento sugli investimenti (ROI), rendimento del debito (ROD). È inclusa anche una variabile dummy per catturare lo sviluppo digitale d'impresa costruita in base alla presenza di un sito web dell'impresa, valorizzando la voce "Sito Internet" da AIDA-BvD. Vengono aggiunte due ulteriori variabili binarie per considerare se l'impresa è parte o meno di un gruppo e se l'impresa è parte di un contratto di rete, già prima dello scoppio della pandemia. Il contratto di rete è uno strumento di politica industriale introdotto con il decreto-legge n. 33/2009 nel pieno della crisi finanziaria del 2009 dal governo italiano all'interno di una legislazione di emergenza. Inoltre, seguendo Landini et al., (2020), includiamo nelle regressioni anche i valori quadratici di dimensione ed età per controllare possibili relazioni non lineari tra queste misure e la probabilità di uscita.

Con riferimento alle variabili contestuali ($Z_{r,t-1}$), si considerano fattori inerenti la specializzazione dell'area misurata attraverso l'incidenza dell'occupazione in settori ad alta tecnologia e ad alta intensità di conoscenza nei SLL e una variabile dummy per la localizzazione dell'impresa in un distretto industriale (ID). Per questa variabile di contesto ci si avvale della più recente classificazione dei distretti industriali elaborata dall'ISTAT (2015). Solo i SLL con (i) elevata presenza di piccole e medie imprese e (ii) elevato grado di specializzazione settoriale sono classificati come distretti industriali (ISTAT, 2015). Seguendo questa classificazione viene quindi costruita la variabile dummy "Distretto", con valore pari a uno se l'impresa appartiene a un distretto industriale, e zero altrimenti. Seguendo Cucculelli e Peruzzi (2020), l'ipotesi è che le imprese negli ID abbiano una maggiore adattabilità alle mutevoli condizioni di mercato, a causa delle minori asimmetrie informative e dei comportamenti imitativi e di gregge che caratterizzano le imprese nei distretti industriali (Dei Ottati, 1995). Per tenere conto delle recenti trasformazioni nei distretti industriali italiani, viene costruito un termine di interazione (ID ad alta intensità di conoscenza) al fine di catturare la specializzazione in settori ad alta tecnologia e l'intensità di conoscenza dell'ambiente locale nei cluster industriali.

L'intento è verificare se e in che misura una riconfigurazione della struttura cognitiva dei distretti basata sull'espansione della conoscenza locale connessa alle funzioni altamente qualificate a monte e a valle delle catene del valore manifatturiere possa aver aiutato le imprese manifatturiere ad affrontare la crisi legata alla pandemia, in linea con l'idea che l'accumulazione di nuove conoscenze sia un fattore cruciale di adattamento e adattabilità agli shock (Bellandi et al., 2018; Martin et al., 2016).

Infine, per valutare i possibili effetti delle politiche di lockdown, è stata costruita una variabile in grado di catturare la durata delle restrizioni implementate dalle regioni nella seconda fase della pandemia. La variabile è costruita conteggiando il numero totale di giorni di lockdown, o zona rossa, per ciascuna regione. In Italia, nella prima metà del 2020, è stato istituito un lockdown nazionale (dal 9 marzo al 5 maggio). Successivamente, a partire dalla seconda metà del 2020 fino a giugno 2021, le politiche di lockdown sono state differenziate per regioni NUTS2. Buchheim et al., 2020 hanno documentato che le aspettative delle imprese sulla durata della chiusura e sull'ulteriore evoluzione della pandemia di COVID-19 hanno influenzato l'intensità delle strategie di risposta e di mitigazione della crisi realizzate dalle imprese. Le aziende che prevedevano restrizioni con durata maggiore di quattro mesi hanno registrato probabilità più alte di implementare risposte forti al fine di ridurre i costi fissi, attraverso il licenziamento di dipendenti o la cancellazione di progetti di investimento, rispetto alle aziende che si aspettavano un rapido ritorno alla normalità.

Le variabili esplicative nell'equazione (1) sono valutate nel periodo pre-crisi, nel 2019 o come media nel corso degli anni 2017-2019, e sono utilizzate per prevedere la probabilità che un'azienda esca dal mercato durante la pandemia (ovvero nella finestra dei 3 anni successivi).

3.5 RISULTATI DELL'ANALISI

La Tabella 3.2 fornisce le statistiche riassuntive dell'analisi basata sulle differenze in media – valori medi per ciascuna variabile – per le due categorie target di imprese: le sopravvissute e quelle uscite. Nella tabella la terza colonna riporta il risultato della differenza tra le due medie campionarie dei sottogruppi, e le ultime due colonne riportano i risultati del t-test sulla differenza tra i valori medi delle imprese attive e di quelle uscite, il *p-value* e il livello di significatività.

Tabella 3.2. Analisi della differenza in media per le imprese uscite e le attive, differenza media e test t di significatività

Variable	(1) Exited (1)	(2) Survivors (0)	(3) Difference (1) – (2)	(4) P-value	(5) Sign.
Age	20,847	24,591	-3,744	0	***
Size	9,589	21,547	-11,958	0	***
Micro-firm (D)	0,715	0,464	0,251	0	***
Small firm (D)	0,257	0,436	-0,178	0	***
Medium-size firm (D)	0,027	0,089	-0,062	0	***
Large firm (D)	0,001	0,012	-0,011	0	***
Productivity (ln)	3,292	3,869	-0,577	0	***
ROA	-0,016	0,037	-0,053	0	***
ROI	-0,034	0,064	-0,098	0	***
ROD	0,016	0,014	0,002	0	***
Rollover	0,859	0,831	0,028	0	***
Financial dep./Indebt	0,778	0,601	0,177	0	***
Website (D)	0,267	0,291	-0,024	0,05	**
Vertical integration	0,4	0,373	0,027	0,00184	***
Group (D)	0,499	0,643	-0,144	0	***
Network contract (D)	0,012	0,032	-0,021	0	***
Industrial District (ISTAT, 2015)	0,364	0,411	-0,047	0	***
High-Tech and KIS (HT-KIS) specialization of LLS	28,357	28,32	0,037	0,79994	
HT-KIS specialization *District	9,257188	10,86934	-1,612151	0	***
Lockdown days	91,28	91,09	-0,185	0,6036	
Agri-food (D)	0,1	0,101	-0,001	0,85558	
Construction (D)	0,049	0,051	-0,002	0,60467	
Mechanics (D)	0,378	0,458	-0,08	0	***
Fashion and furniture (D)	0,304	0,195	0,109	0	***

*, ** e *** indicano rispettivamente significatività al 10%, 5% e 1%

In primo luogo, si evidenzia come le imprese uscite dal mercato siano in media più giovani (Età), più piccole (dummy microimpresa), più esposte al debito a breve termine (Rollover, capitale circolante netto), più fragili in termini di sottocapitalizzazione (dipendenza finanziaria) e meno produttive (Valore aggiunto per dipendente) rispetto ai valori medi registrati dalle imprese sopravvissute. Le differenze sono significative anche quando si confrontano le medie dei due gruppi in termini di rendimento del debito (ROD) precrisi e di redditività (ROI, ROA). Inoltre, i risultati dell'analisi sulle differenze in media evidenziano che la presenza di un canale digitale (sito web) è più frequente nelle imprese sopravvissute rispetto al gruppo di imprese uscite dal mercato, e la differenza è statisticamente significativa. Inoltre, l'appartenenza ad un gruppo (*dummy* Gruppo) è più frequente nelle imprese attive (64%) che in quelle uscite dal mercato (50%). Differenze in media significative

tra le due popolazioni di imprese emergono anche per le variabili contestuali relative all'ubicazione in un distretto industriale come definito dall'ISTAT, e alla specializzazione in servizi ad alta tecnologia o ad alta intensità di conoscenza. Infine, è interessante notare che la probabilità di uscita dal mercato differisce significativamente anche in relazione al settore in cui operano le imprese. In particolare, in alcuni settori industriali – ovvero Moda e Arredamento e Meccanica – si riscontrano differenze significative tra i due gruppi, con le imprese che operano nel settore Moda e Arredamento più esposte al default diversamente da quelle appartenenti alla meccanica.

La Tabella 3.3 mostra i risultati dell'analisi multivariata basata su un modello probit come spiegato nella Sezione precedente. Nell'analisi viene proposta una specificazione fondata su ipotesi tratte dalla teoria e da evidenze ottenute da precedenti contributi in letteratura. La tabella 3.4 fornisce gli effetti marginali associati alla probabilità di default. Le variabili sono organizzate in due blocchi principali: fattori a livello aziendale, interni, e fattori esterni. Tra i primi controlli, l'attenzione è focalizzata su tre variabili che catturano la struttura organizzativa e le relazioni con altre imprese, vale a dire l'Integrazione verticale, l'appartenenza ad un Gruppo e/o ad un Contratto di rete. Per quanto riguarda i fattori esterni, distinguiamo ulteriormente tra tre gruppi di variabili relative ai distretti industriali, alle dinamiche settoriali e un'ulteriore variabile di controllo per valutare un possibile “Effetto Lockdown”.

Tabella 3.3 Risultati Probit – modello di riferimento

	Expected sign	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Size	(-)	-0.258*** (0.0255)	-0.275*** (0.0256)	-0.274*** (0.0256)	-0.273*** (0.0256)	-0.273*** (0.0256)	-0.273*** (0.0256)
Size	(+/-)	0.0147** (0.00576)	0.0209*** (0.00579)	0.0207*** (0.00579)	0.0207*** (0.00578)	0.0207*** (0.00579)	0.0207*** (0.00578)
Age	(-)	-0.199 (0.124)	-0.225* (0.125)	-0.226* (0.125)	-0.217* (0.125)	-0.218* (0.125)	-0.217* (0.125)
Age^2	(+/-)	0.0372* (0.0214)	0.0363* (0.0217)	0.0365* (0.0216)	0.0349 (0.0217)	0.0350 (0.0217)	0.0348 (0.0217)
Productivity	(-)	-0.262*** (0.0201)	-0.262*** (0.0203)	-0.262*** (0.0203)	-0.264*** (0.0203)	-0.263*** (0.0203)	-0.266*** (0.0203)
ROA	(-)	-4.406*** (0.171)	-4.497*** (0.173)	-4.494*** (0.173)	-4.479*** (0.173)	-4.479*** (0.173)	-4.472*** (0.173)
Rollover	(+)	0.466*** (0.0559)	0.473*** (0.0563)	0.472*** (0.0563)	0.468*** (0.0564)	0.468*** (0.0564)	0.462*** (0.0564)
Financial dependency (Indebt)	(+)	0.0764 (0.0487)	0.124** (0.0493)	0.125** (0.0493)	0.126** (0.0493)	0.126** (0.0493)	0.126** (0.0493)
Website (D)	(-)	-0.230*** (0.0218)	-0.231*** (0.0220)	-0.232*** (0.0220)	-0.234*** (0.0220)	-0.234*** (0.0220)	-0.232*** (0.0220)
Vertical integration	(+)	0.627*** (0.0581)	0.654*** (0.0587)	0.650*** (0.0587)	0.650*** (0.0587)	0.649*** (0.0587)	0.651*** (0.0588)
Group (D)	(-)		-0.309*** (0.0203)	-0.309*** (0.0203)	-0.311*** (0.0203)	-0.311*** (0.0203)	-0.311*** (0.0203)
Network contract (D)	(-)		-0.162* (0.0900)	-0.162* (0.0900)	-0.161* (0.0900)	-0.161* (0.0900)	-0.164* (0.0902)
Industrial District (D)	(-)			-0.0468** (0.0237)		-0.0177 (0.0254)	0.261*** (0.0926)
HTM-KIS spec. of LLS	(-)				0.00636*** (0.00171)	0.00591*** (0.00182)	0.00945*** (0.00216)
HTM-KIS *District	(-)						-0.0100*** (0.00322)
Lockdown days	(-/ +)	0.164 (0.325)	0.206 (0.328)	0.215 (0.328)	0.00368 (0.333)	0.0214 (0.334)	-0.0625 (0.335)
Agri-food (D)	(+/-)	0.0367 (0.0392)	0.0232 (0.0395)	0.0227 (0.0395)	0.0303 (0.0396)	0.0297 (0.0396)	0.0337 (0.0396)
Construction (D)	(+/-)	-0.108** (0.0506)	-0.128** (0.0511)	-0.130** (0.0511)	-0.119** (0.0511)	-0.120** (0.0512)	-0.115** (0.0512)
Mechanics (D)	(+/-)	-0.0221 (0.0284)	-0.0294 (0.0286)	-0.0294 (0.0286)	-0.0300 (0.0287)	-0.0299 (0.0287)	-0.0268 (0.0287)
Fashion and furniture (D)	(+/-)	0.152*** (0.0307)	0.147*** (0.0309)	0.151*** (0.0310)	0.158*** (0.0311)	0.159*** (0.0311)	0.155*** (0.0312)
Constant		-1.483 (1.513)	-1.447 (1.525)	-1.480 (1.526)	-0.722 (1.540)	-0.786 (1.543)	-0.504 (1.546)
Chi-squared		2999.8***	3234.7***	3238.6***	3248.7***	3249.2***	3258.9***
LogLikelihood		-9059.227	-8941.766	-8939.815	-8934.777	-8934.534	-8929.656
Pseudo-R-squared		0.142	0.153	0.153	0.154	0.154	0.154
Observations		84,309	84,309	84,309	84,309	84,309	84,309

Variabile dipendente: Exit dell'azienda: dummy =1 se l'azienda esce dal mercato prima del 2023, 0 altrimenti Note: Dimensione, Età, Produttività e Giorni di lockdown sono in logaritmo. Regional fixed effects sono inclusi in tutte le stime. Errori standard robusti tra parentesi; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Dopo il Modello (6), abbiamo effettuato un test di significatività sulla combinazione

lineare dei parametri relativi alla variabile dummy "Industrial District" e al termine di interazione "HTM-KIS* District" utilizzando il comando `testnl` di Stata. I risultati sono: $\chi^2(1) = 7.83$; $\text{Prob} > \chi^2 = 0.0051$.

Per quanto riguarda il primo gruppo di variabili esplicative, i fattori aziendali interni, si trova supporto ad alcune delle tradizionali determinanti della sopravvivenza di un'impresa già emersi in letteratura, come la produttività, il ROA e la presenza del sito web. Inoltre, i risultati suggeriscono come la fragilità finanziaria possa ostacolare la capacità di superare la crisi, le imprese maggiormente indebitate mostrano una maggiore sensibilità allo shock pandemico e alle sue conseguenze economiche. Allo stesso modo, un'elevata esposizione al debito di breve termine è associata a una maggiore probabilità di default. Al contrario, la probabilità di sopravvivenza aumenta con l'appartenenza ad un gruppo e ad un contratto di rete. Inoltre, le imprese situate in distretti industriali caratterizzati da una specializzazione *high tech* e/o ad alta intensità di conoscenza hanno meno probabilità di uscire dal mercato.

Nel complesso, le evidenze prodotte risultano coerenti con lavori precedenti quali Muzi et al. (2022) ed El-Haddad e Zaki (2023), i quali suggeriscono come la crisi economica indotta dalla pandemia di COVID-19 abbia determinato un effetto "*cleaning*" schumpeteriano che ha espulso le imprese meno produttive dal mercato. Sono poi confermate le prove precedenti sul ruolo cruciale della digitalizzazione per la sopravvivenza alla crisi pandemica (Belitski et al., 2021; Wagner, 2021; Muzi et al., 2022). Sulla base dei modelli probit i cui coefficienti sono riportati nella Tabella 3.3, è stato stimato l'effetto marginale medio di ciascuna variabile sulla probabilità che un'impresa abbia poi cessato definitivamente l'attività nel periodo considerato 2020-2022 (Tabella 3.4).

Tabella 3.4. Effetti marginali sulla probabilità di default (modello Probit)

	Expected sign	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Size	(-)	-0.00984*** (0.00101)	-0.00995*** (0.000965)	-0.00989*** (0.000965)	-0.00986*** (0.000962)	-0.00984*** (0.000962)	-0.00981*** (0.000960)
Size	(+/-)	0.000562** (0.000222)	0.000755*** (0.000213)	0.000746*** (0.000213)	0.000747*** (0.000212)	0.000745*** (0.000212)	0.000745*** (0.000211)
Age	(-)	-0.00760 (0.00472)	-0.00814* (0.00452)	-0.00816* (0.00452)	-0.00783* (0.00451)	-0.00786* (0.00451)	-0.00781* (0.00450)
Age^2	(+/-)	0.00142* (0.000817)	0.00131* (0.000783)	0.00132* (0.000782)	0.00126 (0.000781)	0.00126 (0.000781)	0.00125 (0.000779)
Productivity	(-)	-0.00999*** (0.000769)	-0.00949*** (0.000737)	-0.00946*** (0.000737)	-0.00951*** (0.000735)	-0.00949*** (0.000736)	-0.00955*** (0.000735)
ROA	(-)	-0.168***	-0.163***	-0.162***	-0.161***	-0.161***	-0.161***

		(0.00699)	(0.00680)	(0.00680)	(0.00679)	(0.00679)	(0.00677)
Rollover	(+)	0.0178***	0.0171***	0.0171***	0.0169***	0.0169***	0.0166***
		(0.00214)	(0.00205)	(0.00205)	(0.00205)	(0.00205)	(0.00204)
Financial dependency (Indebt)	(+)	0.00291	0.00449**	0.00451**	0.00454**	0.00455**	0.00452**
		(0.00185)	(0.00178)	(0.00178)	(0.00177)	(0.00177)	(0.00177)
Website (D)	(-)	-0.00879***	-0.00837***	-0.00837***	-0.00842***	-0.00842***	-0.00836***
		(0.000838)	(0.000803)	(0.000802)	(0.000801)	(0.000801)	(0.000799)
Vertical integration	(+)	0.0239***	0.0237***	0.0235***	0.0234***	0.0234***	0.0234***
		(0.00223)	(0.00214)	(0.00214)	(0.00213)	(0.00213)	(0.00213)
Group (D)	(-)		-0.0112***	-0.0112***	-0.0112***	-0.0112***	-0.0112***
			(0.000739)	(0.000739)	(0.000738)	(0.000738)	(0.000736)
Network contract (D)	(-)		-0.00586*	-0.00584*	-0.00580*	-0.00580*	-0.00590*
			(0.00325)	(0.00325)	(0.00324)	(0.00324)	(0.00324)
Industrial District (D)	(-)			-0.00169**		-0.000638	0.00936***
				(0.000857)		(0.000916)	(0.00333)
HTM-KIS spec. of LLS	(-)				0.000229***	0.000213***	0.000340***
					(6.15e-05)	(6.58e-05)	(7.76e-05)
HTM-KIS *District	(-)						-0.000361***
							(0.000116)
Lockdown days	(-/+)	0.00627	0.00746	0.00775	0.000133	0.000772	-0.00225
		(0.0124)	(0.0119)	(0.0119)	(0.0120)	(0.0120)	(0.0120)
Agri-food (D)	(+/-)	0.00140	0.000837	0.000821	0.00109	0.00107	0.00121
		(0.00149)	(0.00143)	(0.00143)	(0.00143)	(0.00143)	(0.00142)
Construction (D)	(+/-)	-0.00410**	-0.00462**	-0.00468**	-0.00429**	-0.00434**	-0.00413**
		(0.00193)	(0.00185)	(0.00185)	(0.00184)	(0.00185)	(0.00184)
Mechanics (D)	(+/-)	-0.000841	-0.00106	-0.00106	-0.00108	-0.00108	-0.000964
		(0.00108)	(0.00104)	(0.00104)	(0.00103)	(0.00103)	(0.00103)
Fashion and furniture (D)	(+/-)	0.00578***	0.00530***	0.00547***	0.00570***	0.00574***	0.00558***
		(0.00117)	(0.00112)	(0.00112)	(0.00112)	(0.00112)	(0.00112)

*, ** e *** indicano rispettivamente significatività al 10%, 5% e 1%

Numerose variabili mostrano una relazione significativa con la probabilità d'uscita dal mercato. In primo luogo, si riscontra la non linearità nell'associazione tra dimensione ed età aziendale e la probabilità di uscita, in linea con la relazione a forma di U evidenziata in letteratura (Landini et al., 2020, Audretsch e Mahmood, 1994; Wagner, 1994). Tra le caratteristiche idiosincroniche, il ROA mostra un effetto marginale tra i più elevati, compreso tra -0,161 e -0,168, pertanto un aumento di 1 unità del ROA diminuirebbe la probabilità di default di circa 1,65 punti percentuali. Come previsto, i risultati confermano l'associazione negativa tra digitalizzazione, approssimato dalla variabile "presenza di un canale web", e probabilità che l'impresa cessi l'attività. Tuttavia, l'effetto marginale stimato di circa -0,009 suggerisce che le aziende che avevano un sito web prima della crisi avrebbero solo l'1% in meno di probabilità di uscire dal mercato rispetto alle aziende senza un sito web, un effetto marginale decisamente inferiore a quello riscontrato nelle analisi condotte in altri paesi sull'uscita dal mercato durante la pandemia (Muzi et al., 2022; Wagner et al., 2021). Sia Muzi et al.,

(2022) che Wagner et al., (2021) hanno riscontrato effetti marginali che si considerano in media ampi: rispettivamente da -0,046 a -0,051 e da -0,048 a -0,028. Per quanto riguarda la struttura organizzativa e le relazioni esterne, i risultati delle stime probit suggeriscono che le aziende appartenenti ad un gruppo hanno una probabilità inferiore di 1,12 punti percentuali di chiudere definitivamente durante la pandemia. L'adesione ad un contratto di rete ha minore importanza: le imprese che aderiscono ad un contratto di rete hanno una probabilità di uscire dal mercato significativamente inferiore ma con un effetto marginale pari a -0,005, cioè con una probabilità di default di 0,5 punti percentuali inferiore a quella di imprese isolate.

Osservando i fattori esterni, si nota come l'appartenenza ad un distretto industriale di per sé possa risultare come un fattore in grado di incidere negativamente sulla probabilità di sopravvivenza delle imprese. Questa probabilità è mitigata se si considera l'interazione tra Distretto Industriale e l'indicatore di specializzazione ad alta tecnologia e ad alta intensità di conoscenza, l'effetto risulta essere infatti significativo e con segno negativo. In particolare, la localizzazione di un'impresa in cluster industriali caratterizzati da servizi ad alta intensità di conoscenza e/o settori ad alta tecnologia riduce la probabilità di uscita definitiva dal mercato di 0,0361 punti percentuali.

3.6 CONCLUSIONI E SPUNTI PER LA RICERCA FUTURA

Il lavoro presentato in questo capitolo ha analizzato i fattori che hanno maggiormente influenzato la probabilità di sopravvivenza delle imprese manifatturiere italiane alla pandemia. L'analisi empirica si è basata su dati a livello aziendale tratti dal database AIDA-Bureau van Dijk e ha considerato sia le caratteristiche idiosincroniche specifiche dell'azienda, la struttura organizzativa, i rapporti con aziende esterne sia il ruolo dell'ambiente locale dove le imprese operano. Guardando ai tassi di default registrati a livello regionale e settoriale si evidenziano sostanziali eterogeneità in entrambe le dimensioni. In generale, si ritiene che l'incidenza dello shock pandemico sulla catena di approvvigionamento possa, almeno in parte, spiegare i fattori specifici settoriali che hanno influenzato la sopravvivenza delle imprese. Si pensi ad esempio, alle aziende di settori tradizionali – moda e arredamento – costrette a adattarsi alle diffuse interruzioni della catena di fornitura legate al COVID-19. Le evidenze ottenute permettono di confermare alcuni dei tradizionali fattori specifici d'impresa che incidono sull'uscita dal mercato. I risultati sono in linea con studi precedenti: le microimprese, le imprese altamente indebitate e quelle meno produttive hanno tutte una maggiore probabilità di uscita dal mercato. Tali evidenze supportano così l'ipotesi di un effetto di tipo

Schumpeteriano in atto a seguito dello shock pandemico. Anche una bassa incidenza di debito a breve termine, lo sviluppo digitale e l'appartenenza a un gruppo o a un contratto di rete risultano tra i fattori aziendali che hanno favorito la sopravvivenza dell'impresa. Le microimprese, spesso imprese intermedie nelle catene del valore, hanno risentito maggiormente degli shock della domanda e dell'offerta legati al COVID-19. Le imprese piccole, medie e grandi hanno mostrato tassi di default significativamente più bassi – cioè una maggiore capacità di resilienza – nel nostro campione di imprese manifatturiere italiane. È altrettanto importante sottolineare come l'effetto della dimensione dell'impresa sulla probabilità di default potrebbe essere mitigato dal far parte di un gruppo o dall'aver aderito a un contratto di rete inter-impresa prima dell'inizio della pandemia di COVID-19.

Per quanto riguarda i fattori ecosistemici locali, la localizzazione all'interno di un distretto industriale mitiga la probabilità di chiusura durante la crisi solo quando l'area è anche dotata di una specializzazione ad alta tecnologia o ad alta intensità di conoscenza, confermando l'importanza delle esternalità di agglomerazione che accompagnano un ambiente locale innovativo. A questo proposito, i risultati sul ruolo di un ambiente locale innovativo sono coerenti con la teoria e le indagini recenti sulla riconfigurazione dei distretti industriali (ad esempio, Bellandi e De Propis, 2015; Lafuente et al, 2017; Bellandi et al., 2018; De Propis e Storai, 2019; Sforzi e Boix, 2019). Infine, questo studio fornisce una prima evidenza degli effetti avuti dalle politiche di contenimento della pandemia adottate in Italia con una relazione tra numero di giorni passati in lockdown da un territorio e la probabilità di sopravvivenza delle imprese che nello stesso operano che non sembra essere significativa.

POSTFAZIONE

I lavori presentati in questa tesi sono stati sviluppati con l'intento di contribuire alla ricerca sulla resilienza, concentrandosi su aspetti cruciali per esplorare le proprietà e le dinamiche rilevanti per il benessere e la sostenibilità di imprese e territori, andando oltre il tradizionale obiettivo di crescita economica. È urgente proporre un'alternativa credibile che permetta alle nostre società di abbandonare la logica instaurata dal secondo dopoguerra, orientata esclusivamente allo sviluppo economico. Negli ultimi decenni sono emerse tutte le esternalità negative dei processi focalizzati sull'efficientamento economico e sulla spasmodica ricerca dell'accumulazione e della crescita misurata in termini di Prodotto Interno Lordo (PIL). L'incontrollata integrazione economica, i metodi di produzione orientati all'efficienza e le rapide rivoluzioni tecnologiche hanno inevitabilmente contribuito a creare un'epoca di profonda instabilità. Crisi e shock, siano essi sociali, economici, sanitari o ambientali, si presentano con crescente frequenza. Le società contemporanee devono poter sviluppare una rinnovata capacità di adattamento ai continui cambiamenti, per i quali non sono state strutturate.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, il mondo ha assistito a una crescita economica senza precedenti. La ricostruzione, l'industrializzazione e l'espansione del commercio globale hanno portato a un aumento significativo della produzione economica e del benessere materiale. Tuttavia, la crescita è stata spesso disomogenea, privilegiando alcune nazioni e strati sociali rispetto ad altri, e ignorando le implicazioni ambientali. I modelli economici che hanno dominato tutto il XX secolo si sono concentrati sull'efficienza e la massimizzazione dei profitti, trascurando altri aspetti cruciali come l'equità sociale, la sostenibilità ambientale e la resilienza. Questa visione ristretta ha portato a una sottovalutazione dei rischi sistemici e a una scarsa preparazione alle crisi. Nel contesto attuale, la resilienza emerge come il nuovo obiettivo centrale, spingendo gli studiosi e i decisori politici a riconsiderare e riformulare le fondamenta stesse della teoria economica. In anni recenti hanno proliferato le definizioni e le applicazioni del concetto ai più diversi ambiti specifici. Nonostante le molte definizioni rischino di portare la resilienza ad essere una *buzzword*, i caratteri centrali del concetto di resilienza si riferiscono alla capacità di un sistema di resistere, adattarsi e recuperare rapidamente dalle crisi. Questo concetto implica quindi non solo la capacità di ripresa post-crisi, ma anche la prevenzione, la gestione proattiva delle potenziali minacce oltre che la capacità adattiva del sistema. In questa ottica promuovere politiche in grado di rendere il sistema economico maggiormente sostenibile e ridondante anche a scapito, inevitabilmente di un certo grado di

efficienza, promuoverebbe la resilienza globale del sistema e ne ridurrebbe la vulnerabilità a diversi shock.

Con questa visione il primo capitolo della tesi ha proposto un framework teorico di valutazione dello stato complessivo della resilienza di un sistema considerandone gli aspetti legati alla ridondanza, vulnerabilità ed efficienza in relazione all'architettura di connettività. Per poter declinare la resilienza in politiche specifiche da implementare occorre che i decisori politici siano forniti di una bussola teorica che permetta loro di individuare lo stadio di partenza e quello di arrivo desiderato del sistema su cui si va ad intervenire. Per potersi dotare di tali strumenti occorre lavorare in una doppia direzione: quella teorica, così da strutturare obiettivi e relazioni causali tra forze ed agenti coinvolti, e quella empirica, attraverso la quale creare gli strumenti di valutazione della resilienza prima, durante e dopo gli interventi di politica economica. Agli aspetti empirici sono dedicati gli altri due lavori presentati nella tesi. Entrambi mirano a coprire gap identificati nella letteratura. Il Capitolo II offre una prima esplorazione di una nuova base dati quale OpenStreetMap (OSM) indagandone la capacità predittiva di diverse dimensioni del benessere a scala provinciale. L'indagine ha seguito uno sviluppo metodologico di tipo *data driven* attraverso l'impiego della regressione LASSO in grado di selezionare autonomamente le grandezze OSM ritenute significative per le predizioni. I risultati incoraggianti ottenuti nella prima analisi a scala provinciale hanno permesso di avviare l'esplorazione della scalabilità dei modelli ottenuti a diversi livelli di *governance* territoriale. Quest'ultimo punto risulta il più interessante e quello verso cui indirizzare la ricerca futura, l'obiettivo dell'utilizzo di nuove basi dati è quello di poterle impiegare quando le informazioni tradizionali sono carenti, andando quindi a colmare il gap. I risultati circa la scalabilità del metodo a scala comunale e sub-comunale è stato limitato a due *case studies* mostrando risultati ambivalenti che necessitano di ulteriori approfondimenti per poter trarre conclusioni definitive. Il Capitolo III offre un contributo nell'analisi dei fattori specifici che hanno permesso la sopravvivenza aziendale alla crisi indotta dalla pandemia da COVID-19. Il contributo si è concentrato sul fornire evidenze a livello d'impresa utilizzando, in tal caso dati microeconomici (AIDA-BvD) integrati con dati statistici da altre fonti ufficiali (ISTAT). Si sono ottenute evidenze circa le determinanti interne e di contesto che hanno reso le imprese maggiormente resilienti di fronte alla più recente crisi vissuta. Il contributo dei due lavori empirici è riferito ad evidenze ottenute da dati spesso complessi da maneggiare che hanno richiesto un particolare impegno in termini di *data quality* prima di poter essere utilizzati. Per poter affrontare olisticamente un concetto come quello della resilienza si richiedono competenze trasversali che vanno dalla capacità di immaginare i nessi causali che ne muovono le leve a competenze quali l'elaborazione dati e la conoscenza di tecniche per implementare le analisi. Questa tesi racchiude lavori che hanno

utilizzato l'insieme di queste competenze apprese e perfezionate nel corso del percorso di dottorato che con questa tesi vede il suo compimento.

RINGRAZIAMENTI

Questa tesi è la conclusione di un percorso iniziato a novembre 2020 e durato più di tre anni. Il principale ringraziamento va alla Professoressa Cutrini che da supervisore del progetto di dottorato mi ha guidato, aiutato e supportato nelle diverse fasi di lavoro. Un sentito ringraziamento va ai professori e professionisti che mi hanno aiutato nello sviluppo e perfezionamento del lavoro attraverso dialoghi costruttivi e formativi, ringrazio il professor Fabio Taffetani, co-supervisore del progetto, il Dottor Giovanni Dini in qualità di tutor aziendale e di direttore del Centro Studi Sistema della CNA Marche, il professor Luca Riccetti, il professor Roberto Scazzieri e il professor Gianlugi Salvucci.

Un ringraziamento va anche a Francesco Lomonaco senza il quale questo percorso non sarebbe iniziato.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA PREFAZIONE

Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockstrom, J. (2005). Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309(5737), 1036-1039.

Bauman, Z. (2013). *Liquid modernity*. John Wiley & Sons.

Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity* (Vol. 17). sage.

Berkes, F., & Ross, H. (2013). Community resilience: toward an integrated approach. *Society & natural resources*, 26(1), 5-20.

Bodin, Ö., & Crona, B. I. (2009). The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference?. *Global environmental change*, 19(3), 366-374.

Boin, A., & 't Hart, P. (2010). Organising for effective emergency management: Lessons from research 1. *Australian Journal of public administration*, 69(4), 357-371.

Brand, F. S., & Jax, K. (2007). Focusing the meaning (s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and society*, 12(1).

Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., ... & Von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, 19(4), 733-752.

Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2014). The geographies of community disaster resilience. *Global environmental change*, 29, 65-77.

Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-494.

Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, 15(4).

Galderisi, A., & Ferrara, F. F. (2012). Enhancing urban resilience in face of climate change: a methodological approach. *TeMA-Trimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente-TeMALab*, 5(2), 69-88.

- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change*, 16(3), 293-303.
- Hallegatte, S. (2012). Modeling the roles of heterogeneity, substitution, and inventories in the assessment of natural disaster economic costs. *World Bank Policy Research Working Paper*, (6047).
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.
- Kates, R. W., Travis, W. R., & Wilbanks, T. J. (2012). Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19), 7156-7161.
- Klein, N. (2015). *This changes everything: Capitalism vs. the climate*. Simon and Schuster.
- Krugman, P. (2009). How did economists get it so wrong?. *New York Times*, 2(9), 2009.
- Luthar, S. S. (2015). Resilience in development: A synthesis of research across five decades. *Developmental psychopathology: Volume three: Risk, disorder, and adaptation*, 739-795.
- Masten, A. S. (2001). Ordinary magic: Resilience processes in development. *American psychologist*, 56(3), 227.
- Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41(1-2), 127-150.
- Pike, A., Dawley, S., & Tomaney, J. (2010). Resilience, adaptation and adaptability. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 3(1), 59-70.
- Seligman, M. E. (2002). Positive psychology, positive prevention, and positive therapy. *Handbook of positive psychology*, 2(2002), 3-12.
- Stiglitz, J. E. (2010). *Lessons from the global financial crisis of 2008*.
- Tierney, K. (2012). Disaster governance: Social, political, and economic dimensions. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 341-363.
- Vale, L. J. (2014). The politics of resilient cities: whose resilience and whose city?. *Building Research & Information*, 42(2), 191-201.

Werner, E. E. (1995). Resilience in development. *Current Directions in Psychological Science*, 4(3), 81-85

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO I

Adger W. Neil (2000), Social and ecological resilience: are they related? *Prog Hum Geogr* 2000; 24; 347

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 19-31). Elsevier.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2018). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. CRC press.

Aven, T. (2011). On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience. *Risk Analysis*, 31(4), 515-522.

Barabási, A. L. (2007). The architecture of complexity. *IEEE Control Systems Magazine*, 27(4), 33-42.

Barabási, A.-L. (2017), *Network Science*, accessed 31 October 2023 at <http://networksciencebook.com/>

Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511.

Bauman, Z. (2013). *Liquid modernity*. John Wiley & Sons.

Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity* (Vol. 17). sage.

Bell, S., & Morse, S. (2010). The role of Sustainability Indicators within evidence-based policy for sustainable development in the European Union.

Berkes, F., & Ross, H. (2013). Community resilience: toward an integrated approach. *Society & natural resources*, 26(1), 5-20.

Boschma, R. (2015). Towards an evolutionary perspective on regional resilience. In *Evolutionary Economic Geography* (pp. 29-47). Routledge.

Brand, F. S., & Jax, K. (2007). Focusing the meaning (s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and society*, 12(1).

- Briguglio, L., Cordina, G., Farrugia, N., & Vella, S. (2014). Economic vulnerability and resilience: Concepts and measurements. *Oxford Development Studies*, 37(3), 229-247.
- Brundtland GH, Khalid M, Agnelli S, Al-Athel S, Chidzero B. Our common future. New York; 1987. p. 8.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
- Camagni, R. (2017). Sustainable urban development: Definition and reasons for a research programme. In *Seminal Studies in Regional and Urban Economics: Contributions from an Impressive Mind* (pp. 261-282). Cham: Springer International Publishing.
- Cardinale, I. (2022). Vulnerability, resilience and ‘systemic interest’: a connectivity approach. *Networks and Spatial Economics*, 22(3), 691-707.
- Cardinale, I., Reggiani, A., & Scazzieri, R. (2022). Vulnerability, Resilience and Complex Structures: a connectivity perspective. *Networks and Spatial Economics*, 22(3), 409-413.
- Chatterjee, A., & Layton, A. (2020). Mimicking nature for resilient resource and infrastructure network design. *Reliability Engineering & System Safety*, 204, 107142.
- Cicchetti, D. (2010). Resilience under conditions of extreme stress: a multilevel perspective. *World Psychiatry*, 9(3), 145-154.
- Davidson, R. J., & McEwen, B. S. (2012). Social influences on neuroplasticity: stress and interventions to promote well-being. *Nature Neuroscience*, 15(5), 689-695.
- Di Falco, S., & Perrings, C. (2003). Crop genetic diversity, productivity and stability of agroecosystems. A theoretical and empirical investigation. *Scottish Journal of Political Economy*, 50(2), 207-216.
- Downer, J. (2009). *When failure is an option: Redundancy, reliability and regulation in complex technical systems* (No. DP 53). Centre for Analysis of Risk and Regulation, London School of Economics and Political Science.
- Elmqvist T, et al. Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustain* 2019;2(4):267–73.

- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-494.
- El-Rashidy, R. A., & Grant-Muller, S. (2016). The evaluation of redundancy for road traffic networks. *Transport*, 31(4), 427-439.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *science*, 309(5734), 570-574.
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, 15(4).
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A journal of the human environment*, 31(5), 437-440
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, 437-440.
- Francis, R., & Bekera, B. (2014). A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 90-103.
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change*, 16(3), 293-303.
- Graziano P., Rizzi P. (2020), Resilienza e vulnerabilità nelle regioni europee. *Scienze Regionali – The Italian Journal of Regional Science*, 1/2020.
- Haines, Y. Y. (2009). On the definition of resilience in systems. *Risk Analysis*, 29(4), 498-501.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.
- Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Ashgate Publishing, Ltd.
- Hosseini, S., Barker, K., & Ramirez-Marquez, J. E. (2016). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 47-61.

- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tschardtke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), 303-313.
- Klein, N. (2015). *This changes everything: Capitalism vs. the climate*. Simon and Schuster.
- Krugman, P. (1999). *The return of depression economics*. New York: W.W. Norton.
- Krugman, P. (2009). How did economists get it so wrong?. *New York Times*, 2(9), 2009.
- Luthar, S. S. (2015). Resilience in development: A synthesis of research across five decades. *Developmental psychopathology: Volume three: Risk, disorder, and adaptation*, 739-795.
- Makdissi, P. (2006). On the definition of economic efficiency. *Cahier de recherche/Working Paper*, 6, 44.
- Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M. E., Morgan, H., Clark, S. S., & Linkov, I. (2018). Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications. *Science of the total environment*, 613, 1275-1283.
- Martin, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*, 12(1), 1-32.
- Martin, R., & Sunley, P. (2015). On the notion of regional economic resilience: Conceptualization and explanation. *Journal of Economic Geography*, 15(1), 1-42.
- Masten, A. S. (2001). Ordinary magic: Resilience processes in development. *American psychologist*, 56(3), 227.
- Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41(1-2), 127-150.
- Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 43-60.
- Palmer, S., & Torgerson, D. J. (1999). Definitions of efficiency. *Bmj*, 318(7191), 1136.
- Park, J., Seager, T. P., Rao, P. S., Convertino, M., & Linkov, I. (2013). Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 117, 12-27.

- Pendall, R., Foster, K. A., & Cowell, M. (2007). Resilience and regions: Building understanding of the metaphor. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(1), 71-84.
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2010). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786-5791
- Randles, M.; Lamb, D.; Odat, E.; Taleb-Bendiab, A. (2011). Distributed redundancy and robustness in complex systems, *Journal of Computer and System Sciences* 77(2): 293–304.
- Reggiani, A. (2022). The architecture of connectivity: A key to network vulnerability, complexity and resilience. *Networks and Spatial Economics*, 22(3), 415-437.
- Righi, A. W., Saurin, T. A., & Wachs, P. (2015). A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. *Reliability Engineering & System Safety*, 141, 142-152.
- Rutter, M. (1987). Psychosocial resilience and protective mechanisms. *American journal of orthopsychiatry*, 57(3), 316-331
- Scazzieri, R. (2021). 16. Complex structures and relative invariance in economic dynamics. *Handbook on Entropy, Complexity and Spatial Dynamics: A Rebirth of Theory?*, 271.
- Seeliger, L., & Turok, I. (2013). Towards sustainable cities: extending resilience with insights from vulnerability and transition theory. *Sustainability*, 5(5), 2108-2128.
- Simmie J. and Martin R. (2010) The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach, *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 3, 27–43.
- Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. *Proceedings of the American philosophical society*, 106(6), 467-482.
- Stiglitz, J. E. (2010). *Lessons from the global financial crisis of 2008*.
- Streeter, C. L. (1992). Redundancy in organizational systems. *Social Service Review*, 66(1), 97-111.
- Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.

Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology letters*, 8(8), 857-874.

Walker, B., & Salt, D. (2012). *Resilience practice: building capacity to absorb disturbance and maintain function*. Island press.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. *Ecology and society*, 9(2).

Weaver, W. (1948). Science and complexity. *American scientist*, 36(4), 536-544.

Werner, E. E. (1995). Resilience in development. *Current Directions in Psychological Science*, 4(3), 81-85

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO II

Almendros-Jiménez, J. M., & Becerra-Terón, A. (2018). Analyzing the tagging quality of the Spanish OpenStreetMap. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(8), 323.

Andruszek, K., & Wójcik, P. (2020). Predicting well-being based on features visible from space—the case of Warsaw (No. 2020-37).

Armiento, M. (2016). The Sustainable Welfare Index for Italy, 1960-2013 (No. 1601).

Armiento, M. (2018). The sustainable welfare index: towards a threshold effect for Italy. *Ecological Economics*, 152, 296-309.

Arsanjani, J., Zipf, A., Mooney, P., Helbich, M., 2015 (Eds.), *OpenStreetMap in GIScience*. Springer International Publishing, Cham.

Atkinson, A. B. (1970). On the measurement of inequality. *Journal of economic theory*, 2(3), 244-263.

Bachtrögler-Unger, J., Dolls, M., Schüle, P., Taubenböck, H., Weigand, M. (2021), Evaluating EU cohesion policy using satellite data, Bertelsmann Stiftung, doi:10.11586/2021047 available at <https://www.bertelsmann-stiftung.de/en/publications/publication/did/evaluating-eu-cohesion-policy-using-satellite-data-en>

Balducci, F. (2021). Is OpenStreetMap a good source of information for cultural statistics? The case of Italian museums. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(3), 503-520.

Balducci, F., Ferrara, A., & Arosio, F. (2021). Qualità degli open data geografici: quali fattori contestuali influenzano la mappatura dei musei italiani? *Scienze Regionali*, 20(Speciale), 619-642.

Barron, C., Neis, P., & Zipf, A. (2014). A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis. *Transactions in GIS*, 18(6), 877-895.

Bickenbach, F., Bode, E., Lange, M., & Nunnenkamp, P. (2016), Night lights and regional GDP, *Review of World Economics*, 152(2), 425-447.

Boschma, R. (2017). Towards an evolutionary perspective on regional resilience. In *Evolutionary Economic Geography* (pp. 29-47). Routledge.

Brice, B. D., & Montesinos-Yufa, H. M. (2019). The Era of Empirical Evidence. Mimeo.

Bright, J., De Sabbata, S., Lee, S., Ganesh, B., & Humphreys, D. (2018). OpenStreetMap data for alcohol research: Reliability assessment and quality indicators. *Health & Place*, 50, 130-136.

Broccoli M., Bruzzone S. (2018), Geographical localization of road accidents on WGS84 system and use of Open Street Map for road safety performance indicators on the Italian road network, Istat – Brussels, 24 January 2018, Available at <https://www.istat.it/it/files//2021/05/IT-PP-Geographical-coordinates.pdf>

Brovelli, M.A.; Minghini, M.; Molinari, M.E.; Zamboni, G. Positional accuracy assessment of the OpenStreetMap buildings layer through automatic homologous pairs detection: The method and a case study. *ISPRS-Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2016, 49, 615–620.

Bustamante, A., Sebastia, L., & Onaindia, E. (2021). On the representativeness of openstreetmap for the evaluation of country tourism competitiveness. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 301.

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

Cobb, C. Halstead, T., & Rowe, J. (1995). *The genuine progress indicator: Summary of data and methodology*. San Francisco: Redefining Progress.

Cobb, J., & Daly, H. (1989). *For the common good, redirecting the economy toward community, the environment and a sustainable future*.

Campagna Sbilanciamoci, I. *Verso il Benessere Interno Lordo*.

Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L. J., Quinlan, A. E., Peterson, G. D., Wilkinson, C., ... & Davoudi, S. (2012). Resilience: a bridging concept or a dead end? "Reframing" resilience: challenges for planning theory and practice interacting traps: resilience assessment of a pasture management system in Northern Afghanistan urban resilience: what does it mean in planning practice? Resilience as a useful concept for climate change adaptation? The politics of resilience for planning: a cautionary note: edited by Simin Davoudi and Libby Porter. *Planning theory & practice*, 13(2), 299-333.

de Araujo Barbosa, C. C., Atkinson, P. M., & Dearing, J. A. (2015). Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 52, 430-443.

Department of Energy, Energy Information Administration (DOE EIA):
<http://www.eia.gov/countries/>

Easterlin, R. A. (1974). Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence. In *Nations and households in economic growth* (pp. 89-125). Academic Press.

Eisner, R. (1989). *The total incomes system of accounts*. University of Chicago Press.

Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Anderson, S. J., Sutton, P. C., & Ghosh, T. (2012). The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data. *Social Geography*, 7(1), 23-35.

Faggian, A., Gemmiti, R., Jaquet, T., & Santini, I. (2018). Regional economic resilience: The experience of the Italian local labor systems. *The Annals of Regional Science*, 60, 393-410.

Fan, H.; Zipf, A.; Fu, Q.; Neis, P. Quality assessment for building footprints data on OpenStreetMap. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2014, 28, 700–719.

Feldmeyer, D., Meisch, C., Sauter, H., & Birkmann, J. (2020). Using OpenStreetMap data and machine learning to generate socio-economic indicators. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 498.

Feldmeyer, D.; Wilden, D.; Kind, C.; Kaiser, T.; Goldschmidt, R.; Diller, C.; Birkmann, J. (2019), Indicators for Monitoring Urban Climate Change Resilience and Adaptation. *Sustainability*, 11, 2931.

Fioramonti, L. (2013). *Gross domestic product: The politics behind the world's most powerful number*. Bloomsbury Publishing.

Fitoussi, J. P., Sen, A. K., & Stiglitz, J. E. (2011). *Mismeasuring Our Lives: Why GDP Doesn't Add Up*. ReadHowYouWant.com.

Forghani, M., & Delavar, M. R. (2014). A quality study of the OpenStreetMap dataset for Tehran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(2), 750-763.

Franzini, M.; Annovazzi-Lodi, L.; Casella, V. Assessment of the Completeness of OpenStreetMap and Google Maps for the Province of Pavia (Italy). In *Proceedings of the 6th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*, Prague, Czech Republic, 7–9 May 2020; pp. 270–277.

Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2010). Regularization Paths for Generalized Linear Models via Coordinate Descent. *Journal of Statistical Software*, Vol. 33, Issue 1: 1–22.
<https://www.jstatsoft.org/v33/i01/>

Gillespie-Marthaler, L., Nelson, K. S., Baroud, H., Kosson, D. S., & Abkowitz, M. (2019). An integrative approach to conceptualizing sustainable resilience. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 4(2), 66-81.

Girres, J.F.; Touya, G. Quality assessment of the French OpenStreetMap dataset. *Trans. GIS* 2010, 14, 435–459.

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221.

Graziano, P., & Rizzi, P. (2020). Resilienza e vulnerabilità nelle regioni europee. *Scienze Regionali*, 19(1), 91-118.

Hardeman, S., & Dijkstra, L. (2014). The EU regional human development index. JRC science and policy reports, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. *American economic review*, 102(2), 994-1028.

Hung, J. (2022), How the application of satellite imagery offers new opportunities to explore China's urbanisation and development. *Quality and Quantity*.

Iorio, C., Pandolfo, G., D'Ambrosio, A., Siciliano, R. (2020), Mining big data in tourism. *Quality and Quantity* 54, 1655–1669.

ISTAT. Rapporto BES - Il benessere equo e sostenibile in Italia. ISTAT.

Jean, N., Burke, M., Xie, M., Davis, W. M., Lobell, D. B., & Ermon, S. (2016). Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science*, 353(6301), 790-794.

Jenkins, M. W., & Sugden, S. (2006). Human development report 2006. New York: United Nations Development Programme.

Jia, X., Kuo, B. C., & Crawford, M. M. (2013). Feature mining for hyperspectral image classification. *Proceedings of the IEEE*, 101(3), 676-697.

Kloog, I., Kaufman, L. I., & De Hoogh, K. (2018). Using open street map data in environmental exposure assessment studies: Eastern Massachusetts, Bern region, and South Israel as a case study. *International journal of environmental research and public health*, 15(11), 2443.

Kopczewska, K. (2022). Regional development in Central and Eastern Europe and Asia. *Regional Science Policy & Practice*, 14(4), 697–698.

International Energy Agency: World Energy Outlook 2011, ISBN: 978-92-64-12413-4, Paris, France, 2011.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.

Ludwig C, Fendrich S, Zipf A. Regional variations of context-based association rules in OpenStreetMap. *Transactions in GIS*. 2021;25:602–621. <https://doi.org/10.1111/tgis.12694>

Ludwig, C.; Hecht, R.; Lautenbach, S.; Schorcht, M.; Zipf, A. (2021) Mapping Public Urban Green Spaces Based on OpenStreetMap and Sentinel-2 Imagery Using Belief Functions. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 2021, 10, 251.

Marley J., Elazar D and Traeger K., (2014) Methodological Approaches for Utilising Satellite Imagery to Estimate Official, Research Paper, Australian Bureau of Statistics.

Martin, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*, 12, 1–32.

Martin, R., Sunley, P., Gardiner, B., & Tyler, P. (2016). How regions react to recessions: Resilience and the role of economic structure. *Regional Studies*, 50(4), 561–585.

Meadows, Donella H., Edward I. Goldsmith, and Paul Meadow. (1972). *The limits to growth*. Vol. 381. London: Earth Island Limited.

Meinshausen, N., & Bühlmann, P. (2010). Stability selection. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 72(4), 417-473.

Mellander, C., Lobo, J., Stolarick, K., & Matheson, Z. (2015). Night-time light data: A good proxy measure for economic activity?. *PloS one*, 10(10), e0139779.

Modica, M., & Reggiani, A. (2015). Spatial economic resilience: Overview and perspectives. *Networks and Spatial Economics*, 15(2), 211–233.

Mooney, P., & Minghini, M. (2017). A review of OpenStreetMap data.

Network, G. F. (2019). Global footprint network. Obtenido de Global Footprint Network: <http://www.footprintnetwork.org> online. Accessed, 1-10.

Neumayer, E. (1999). The ISEW: not an index of sustainable economic welfare. *Social indicators research*, 77-101.

Nielsen, J., & Loranger, H. (2006). *Web usability 2.0. L'usabilità che conta*. Apogeo Editore.

Nordhaus, W. D., & Tobin, J. (1971). Is growth obsolete?.

Nordhaus, W. D., & Tobin, J. (1972). *Economic Research: Retrospect and Prospect, Volume 5, Economic Growth* (No. nord72-1). national bureau of economic research.

OECD (2015), *The Future of Productivity*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264248533-en>.

OECD. (2011). *How's life? Measuring well-being*. OECD Publishing.

Olivari, B., Cipriano, P., Napolitano, M., & Giovannini, L. (2023). Are Italian cities already 15-minute? Presenting the Next Proximity Index: A novel and scalable way to measure it, based on open data. *Journal of Urban Mobility*, 4, 100057.

OpenStreetMap Contributors. Open Database License. Available online: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Stats> (Accessed on 19 January 2023).

Piketty, T. (2014). *Capital in the twenty-first century*. Harvard University Press.

Pomianek, I., & Chrzanowska, M. (2016). A spatial comparison of semi-urban and rural gminas in Poland in terms of their level of socio-economic development using Hellwig's method. *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series*, 33(33), 103–117.

Rabiei-Dastjerdi, H., McArdle, G., & Ballatore, A. (2020). Urban consumption patterns: OpenStreetMap quality for social science research. In *The 6th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, Online Event, 7-9 May 2020*. SciTePress.

Resce, G., Lagravinese, R., Benedetti, E., & Molinaro, S. (2019). Income-related inequality in gambling: evidence from Italy. *Review of Economics of the Household*, 17(4), 1107-1131.

Richards, J. A., & Richards, J. A. (2022). *Remote sensing digital image analysis (Vol. 5)*. Berlin/Heidelberg, Germany: springer.

Roberts, S., & Nowak, G. (2014). Stabilizing the lasso against cross-validation variability. *Computational Statistics & Data Analysis*, 70, 198-211.

Salvati, L., Guandalini, A., Carlucci, M., & Chelli, F. M. (2017). An empirical assessment of human development through remote sensing: Evidences from Italy. *Ecological Indicators*, 78, 167-172.

Salvucci, G., & Salvati, L. (2021). Official Statistics, Building Censuses, and OpenStreetMap Completeness in Italy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1), 29.

Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (1995). *Economics: International Edition*. New York. McGraw-Hill Inc.

Sarretta, A., Napolitano, M., & Minghini, M. (2023). *Openstreetmap As An Input Source For Producing Governmental Datasets: The Case Of The Italian Military Geographic Institute*. The

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, 193-200.

Sauter, H., Feldmeyer, D., & Birkmann, J. (2019). Exploratory study of urban resilience in the region of Stuttgart based on OpenStreetMap and literature resilience indicators. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 213-220.

Siebritz, L. A. (2014). Assessing the accuracy of openstreetmap data in south africa for the purpose of integrating it with authoritative data (Master's thesis, University of Cape Town).

Simmie, J., & Martin, R. (2010). The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 3(1), 27-43.

Skidmore, A. K., & Pettorelli, N. (2015). Agree on biodiversity metrics to track from space: Ecologists and space agencies must forge a global monitoring strategy. *Nature*, 523(7561), 403-406.

Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2009). Report by the commission on the measurement of economic performance and social progress.

Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2010). La misura sbagliata delle nostre vite. Perché il PIL non basta più per valutare benessere e progresso sociale.

Stiglitz, J., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2009). The measurement of economic performance and social progress revisited: Reflections and overview, *Sciences Po Publications 2009–2033*.

Talberth, J., Cobb, C., & Slattery, N. (2007). *The genuine progress indicator 2006*. Oakland, CA: Redefining Progress, 26.

Ternès, N., Rotolo, F., & Michiels, S. (2016). Empirical extensions of the lasso penalty to reduce the false discovery rate in high-dimensional Cox regression models. *Statistics in medicine*, 35(15), 2561-2573.

Tibshirani, R. (1996), "Regression shrinkage and selection via the lasso." *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 58(1): 267-288.

Ubaldi E., Monechi B., Chiappetta C., and Loreto V. (2021), Heterogeneity and segregation of mobility patterns, in A. Reggiani, L.A. Schintler, D. Czamanski, R. Patuelli (eds), Handbook on Entropy, Complexity and Spatial Dynamics. A Rebirth of Theory?; Cheltenham, Edward Elgar Publishing Ltd; pp. 486-509.

UNDP (2010) Human Development Report 2010: The Real Wealth of Nations - Pathways to Human Development, New York.

UNDP (2012) UNDP National Human Development Report. Poland 2012. Local and regional development.

UNDP (United Nations Development Programme). 1990. Human Development Report 1990: Concept and Measurement of Human Development. New York.

United Nations (1953). A System of National Accounts and Supporting Tables. New York: United Nations.

United Nations (2018) Global Indicator Framework for the Sustainable Development Goal and Targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development: Sustainable Development Goal Indicators should be Disaggregated, where Relevant, by Income, Sex, Age, Race, Ethnicity, Migratory Status, Disability and Geographic Location, or Other Characteristics, in Accordance with the Fundamental Principles of Official Statistics. Available online: https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%20refinement_Eng.pdf (Accessed on 18 January 2023).

United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, & World Bank (2009). System of National Accounts 2008. New York: United Nations.

Ura, K., Alkire, S., Zangmo, T., & Wangdi, K. (2012). An extensive analysis of GNH index.

Wójcik, P., & Andruszek, K. (2022). Predicting intra-urban well-being from space with nonlinear machine learning. *Regional Science Policy & Practice*, 14(4), 891–913.

Yeh, C., Perez, A., Driscoll, A., Azzari, G., Tang, Z., Lobell, D., ... & Burke, M. (2020). Using publicly available satellite imagery and deep learning to understand economic well-being in Africa. *Nature communications*, 11(1), 2583.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO III

Acharya, V.V. and Steffen, S. (2020), The Risk of Being a Fallen Angel and the Corporate Dash for Cash in the Midst of COVID, in *The Review of Corporate Finance Studies*, 9(3), 430-471.

Adalet McGowan, M., D. Andrews, V. Millot, and T. Beck. 2018. “The walking dead? Zombie firms and productivity performance in OECD countries”. *Economic Policy*, Volume 33, Issue 96: 685-736.

Amin, M., & Viganola, D. (2023). Does better access to finance help firms deal with the COVID-19 pandemic? Evidence from firm-level survey data, *Journal of International Development*.

Antonioli, D., & Montresor, S. (2021). Innovation persistence in times of crisis: An analysis of Italian firms, *Small Business Economics*, 56, 1739–1764.

Balduzzi, P., Brancati, E., Brianti, M. and Schiantarelli, F. [2020], The Economic Effects of COVID-19 and Credit Constraints: Evidence from Italian Firms’ Expectations and Plans, IZA DP No. 13629, August 2020.

Basile, R., R. Pittiglio, and F. Reganati. (2017). Do Agglomeration Externalities Affect Firm Survival?” *Regional Studies* 51 (4): 548–562.

Belitski, M., Guenther, C., Kritikos, A. S., & Thurik, R. (2022). Economic effects of the COVID-19 pandemic on entrepreneurship and small businesses. *Small Business Economics*, 1-17.

Bellandi, M. and De Propris, L. (2015), “Three generations of industrial districts”, *Investigaciones Regionales-Journal of Regional Research*, No. 32, pp. 75-87.

Bellandi, M., Santini, E., & Veccioli, C. (2018). Learning, unlearning and forgetting processes in industrial districts. *Cambridge Journal of Economics*, 42(6), 1671–1685

Bozkurt, İ., & Kaya, M. V. (2022). Foremost features affecting financial distress and Bankruptcy in the acute stage of COVID-19 crisis. *Applied Economics Letters*, 1-12

Brancati, E., R. Brancati, and A. Maresca. 2017. Global Value Chains, Innovation and Performance: Firm-Level Evidence from the Great Recession. *Journal of Economic Geography*. 17 (1): 1039–1073.

Buchheim, L., Doern, J., Krolage, C. and Link, S. [2020], Firm-level Expectations and Behavior in Response to the Covid-19 Crisis, IZA DP No. 13253, August 2020

Chemmanur, Thomas J.; Gounopoulos, Dimitrios; Koutroumpis, Panagiotis; Zhang, Yu (2022): CSR and firm survival: Evidence from the climate and pandemic crises, Working Paper, No. 935, Queen Mary University of London, School of Economics and Finance, London

Chundakkadan, R., Natarajan, R. R., & Sasidharan, S. (2022). Small firms amidst COVID-19: Financial constraints and role of government support. *Economic Notes*, 51(3), e12206.

Corsini S. and Pitingaro S. (2022), I contratti di rete: una lettura per macroarea geografica in Cabigiosu A. (eds), Osservatorio Nazionale sulle reti d'impresa 2022, Studi e ricerche sulle reti d'impresa, Venezia Edizioni Ca' Foscari - Venice University Press, 7-24

Costa S., De Santis, S., Dosi G., Monducci R, Sbardella A., Virgillito M.E. (2022) Firm responses to the COVID-19 crisis: sticky capabilities and widespread restructuring, *Rivista di Statistica Ufficiale/Review of Official Statistics* N. 1/2022

Cucculelli, M., & Peruzzi, V. (2020). Post-crisis firm survival, business model changes, and learning: evidence from the Italian manufacturing industry. *Small Business Economics*, 54, 459-474.

Cutrini, E., & Salvati, L. (2021). Unraveling spatial patterns of COVID-19 in Italy: Global forces and local economic drivers. *Regional Science Policy & Practice*, 13, 73-108.

De Propris, S. and Storai, D. (2019), "Servitizing industrial regions", *Regional Studies*, Vol. 53 No. 3, pp. 388-397.

Dei Ottati, G. (1995). *Tra mercato e comunità: aspetti concettuali e ricerche empiriche*. Milano: Franco Angeli.

Dörr, J. O., Licht, G., and Murmann, S. (2021). Small firms and the COVID-19 insolvency gap. *Small Business Economics*, 1-31.

El-Haddad, A., & Zaki, C. (2023). Storm survivors: Evidence from firms in times of pandemic. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 1-34.

Ferragina A. M., Iandolo, S. (2022), Italian Firms Exposure, risk and sentiment to COVID-19: impact on credit behaviour and patrimonial status, in S. Capasso e G. Canitano (a cura di) *Mediterranean Economies 2021-2022*, Bologna, Il Mulino, 2022 (ed. digit.: 2022, doi: 10.978.8815/371034)

Ferragina, A. M., & Mazzotta, F. (2014). Local agglomeration economies: what impact on multinational and national Italian firms' survival?, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 110, 8-19.

Goel, R. K., & Nelson, M. A. (2022). Global coronavirus business closures: influences of executive gender, firm characteristics, and government involvement. *Applied Economics*, 1-19.

IMF (2022), Italy: Staff Concluding Statement of the 2022 Article IV Mission, May 19, 2022, available at <https://www.imf.org/en/News/Articles/2022/05/19/italy-staff-concluding-statement-of-the-2022-article-iv-mission>

ISTAT (2015), I distretti industriali 2011. Rome, ISTAT.

ISTAT (2021), Rapporto sulla competitività dei settori produttivi 2020, March, Rome, ISTAT.

ISTAT (2022), Rapporto sulla competitività dei settori produttivi 2021, March, Rome, ISTAT.

Lafuente, E., Vaillant, Y. and Vendrell-Herrero, F. (2017), Territorial servitization: exploring the virtuous circle connecting knowledge-intensive services and new manufacturing businesses, *International Journal of Production Economics*, Vol. 192, pp. 19-28.

Landini, F., Arrighetti, A. Lasagni, A. (2020) Economic crisis and firm exit: do intangibles matter?, *Industry and Innovation*, 27:5, 445-479.

Martin, R., Sunley, P., Gardiner, B. and Tyler, P. 2016. How regions react to recessions: resilience and the role of economic structure, *Regional Studies*, vol. 50, no. 4, 561–85

Muzi, S., Jolevski, F., Ueda, K., & Viganola, D. (2022). Productivity and firm Exit during the COVID-19 Crisis: Cross-country evidence. *Small Business Economics*, 1-42

Nifo A. and G. Vecchione (2014), Do Institutions Play a Role in Skilled Migration? The Case of Italy, *Regional Studies*, Volume 48, Issue 10, 2014, 1628-1649.

Nifo, A, and G. Vecchione (2015), "Measuring Institutional Quality in Italy", *Rivista Economica del Mezzogiorno*, N. 1-2/2015, pages 157-181, Il Mulino, Bologna.

Orlando, T., & Rodano, G. (2020). Firm undercapitalization in Italy: business crisis and survival before and after COVID-19. *Bank of Italy Occasional Paper*, (590).

Sforzi, F. and Boix, R. (2019), "Territorial servitization in marshallian industrial districts: the industrial district as a place-based form of servitization", *Regional Studies*, Vol. 53 No. 3, pp. 398-409.

Wagner, J. (2021). With a little help from my website Firm survival and web presence in times of COVID-19 – evidence from 10 European countries. *Economics Bulletin*, 41(3), 1898–1906.

APPENDICE

APPENDICE CAPITOLO II

Tabella A2.1 Lista delle variabili target

Indicatore	Descrizione	Anno di riferimento
% children 0-3 used childcare services 2019	Percentuale di bambini di 0-2 anni che hanno usufruito dei servizi per l'infanzia offerti da strutture pubbliche di titolarità Comunale o strutture private in convenzione o finanziate dai Comuni. I servizi compresi sono asili nido, sezioni primavera, servizi integrativi per la prima infanzia.	2019
% waste_disposal recycling_centre 2020	Percentuale di rifiuti urbani oggetto di raccolta differenziata sul totale dei rifiuti urbani	2020
Average disposable income per capita 2017	Rapporto tra il totale del reddito disponibile delle delle famiglie consumatrici e il numero totale di persone residenti (in euro correnti).	2017
average per capita assets 2017	Rapporto tra l'ammontare totale del patrimonio delle famiglie (in migliaia di euro) e il numero delle famiglie residenti. Il patrimonio comprende le attività reali (fabbricati, terreni) e finanziarie (depositi bancari e postali, titoli e fondi comuni di investimento, azioni e partecipazioni, riserve tecniche varie).	2017
Avoidable mortality 2019	Decessi di persone di 0-74 anni la cui causa di morte è identificata come trattabile (gran parte dei decessi per tale causa potrebbe essere evitata grazie a un'assistenza sanitaria tempestiva ed efficace, che include la prevenzione secondaria e i trattamenti) o prevenibile (gran parte dei decessi per tale causa potrebbe essere evitata con efficaci interventi di prevenzione primaria e di salute pubblica). La definizione delle liste di cause trattabili e prevenibili si basa sul lavoro congiunto OECD/Eurostat, rivisto nel novembre 2019. Tassi standardizzati con la popolazione europea al 2013 all'interno della classe di età 0-74 per 10.000 residenti.	2019
beds in hospitals 2018	Posti letto ordinari e in day hospital in istituti di cura pubblici e privati accreditati per 10.000 abitanti.	2018
business registration 2021	Imprese iscritte al 31/12 dell'anno (numero). I dati non comprendono l'agricoltura, selvicoltura e pesca (sezione A dell'Ateco 2007)	2021
cooperative weight in the economy	Addetti delle società cooperative sul totale degli addetti (percentuale)	2018
election participation 2019	Percentuale di persone che hanno votato alle ultime elezioni del Parlamento europeo sul totale degli aventi diritto (escluso il voto all'estero).	2019
exports (€) 2019	Esportazioni (euro)	2019
female unemployment rate 2021	Persone in cerca di occupazione in età 15 anni e oltre sulle forze di lavoro nella corrispondente classe di età (%) (media annua)	2021
gross registration rate in the company register 2020	Imprese iscritte sul totale delle imprese registrate nell'anno precedente (al netto delle imprese agricole) (%)	2020
Inadequate literacy competence 2019	Percentuale di studenti delle classi III della scuola secondaria di primo grado che non raggiungono un livello sufficiente (Livello I + Livello II di 5 livelli) di competenza alfabetica	2019
km places offered tpi 2019	Prodotto del numero complessivo di km percorsi nell'anno dai veicoli del Tpl per la loro capacità media, rapportato alla popolazione residente (post-Km per abitante). L'indicatore è riferito ai Comuni capoluogo di provincia e considera le seguenti modalità di Tpl: autobus, tram, filobus, metropolitana, funicolare o funivia (inclusi i servizi ettometrici di navetta a guida automatica), trasporti per vie d'acqua.	2019
n ultra-broadband subscriptions percentage of the 2020 population	Percentuale di famiglie che risiedono in una zona servita da una connessione di nuova generazione ad altissima capacità (FTTH).	2020
NEET 2020	Percentuale di persone di 15-29 anni né occupate né inserite in un percorso di istruzione o formazione sul totale delle persone di 15-29 anni.	2020
over54 employment rate 2021	Persone occupate over 54 anni (55-64) in percentuale sulla popolazione nella corrispondente classe di età	2021
patenting propensity 2017	Numero di brevetti registrati allo European Patent Office (EPO) per milione di abitanti	2017
PM10 annual average concentration 2019	Valore più elevato della concentrazione media annua di PM10 rilevato tra tutte le centraline fisse per il monitoraggio della qualità dell'aria nei Comuni capoluogo di provincia.	2019
unemployment rate 2021	Persone in cerca di occupazione in età 15 anni e oltre sulle forze di lavoro nella corrispondente classe di età (%) (media annua)	2021
urban green availability 2019	Metri quadrati di verde urbano per abitante nei comuni capoluogo di provincia/città metropolitana.	2019
widespread crimes reported 2019	La microcriminalità è definita come la somma dei seguenti delitti: furto con strappo, furto con destrezza, furto su auto in sosta, furto di autovettura. I delitti rilevati sono quelli denunciati dalle Forze dell'ordine all'Autorità giudiziaria e sono disponibili per le province che sono sede di prefetture-UTG	2019
youth employment rate 2020	Persone occupate in età 15-24 anni sulla popolazione nella corrispondente classe di età (%) (media annua)	2020
youth unemployment rate 2021	Persone in cerca di occupazione in età 15-24 anni sulle forze di lavoro nella corrispondente classe di età (%) (media annua)	2021

Tabella A 2.2 Categorie OSM e relativa composizione

Categoria	OSM Key	OSM feature	geometria
1 agriculture building	building	barn; cowshed; greenhouse; stable; sty	
2 art shop	shop	art; collector	
3 bookmaker	shop	bookmaker	
4 building university	building	university	
5 car shop	shop	car; car_repair; car_parts; tyres	
6 church	building	church	
7 commercial consulting office	office	company; consulting	
8 conference centre	amenity	conference_centre; events_venue	
9 culture	amenity	arts_centre; theatre; cinema	
10 education service	amenity	college; kindergarten; language_school; music_school; school	
11 electronics shop	shop	computer; electronics; hifi; mobile_phone; radiotechnics	
12 emergency service	emergency_service	ambulance_station; defibrillator	
13 employment agency	office	employment_agency	
14 fast food	amenity	fast_food	
15 financial service	amenity	atm; bank; bureau_de_change	
16 fitness centre	leisure	fitness_centre	
17 food beverage	amenity	bar; biergarten; cafe; food_court; ice_cream; pub; restaurant	
18 fuel station	amenity	fuel	
19 gate terminal	aeroway	gate; terminal	
20 government building	building	government	
21 hospital	amenity	hospital	
22 hotel	building	hotel	
23 industrial	building	industrial	
24 land forest	landuse	forest	polygons
25 landuse commercial	landuse	commercial	polygons
26 landuse construction	landuse	construction	polygons
27 landuse industrial	landuse	industrial	polygons
28 landuse residential	landuse	residential	polygons
29 landuse retail	landuse	retail	polygons
30 landuse rural	landuse	allotments; farmland; farmyard; meadow; orchard; vineyard	polygons
31 mall	shop	department_store; general; mall; supermarket; wholesale	
32 marina	leisure	marina	
33 medic service	amenity	clinic; dentist; doctors; social_facility	
34 military building	building	military	
35 mosque	building	mosque	
36 nightclub	amenity	nightclub	
37 non profit activity office	office	association; charity; foundation; ngo	
38 office	building	office	
39 parking	building	parking	
40 parks	leisure	park; nature_reserve; recreation_ground; golf_course; pitch; garden	
41 pharmacy	amenity	pharmacy	
42 police	amenity	police	
43 post	amenity	post_box; post_office	
44 public toilet	amenity	toilets; shower	
45 public transport platform	public_transport	public_transport_platform	
46 recreation ground	landuse	recreation_ground	polygons
47 recycling centre	amenity	recycling	
48 refugee site	amenity	refugee_site	
49 residential building	building	apartments; bungalow; cabin; detached; farm; ger; house; houseboat; residential; semidetached_house; static_caravan; terrace	
50 retail	building	retail	
51 shop all	shop		
52 social centre	amenity	community_centre; social_centre	
53 sport hall	building	sport_hall	
54 sport leisure	leisure	ice_rink; pitch; sport_centre; swimming_pool; track	
55 student dormitory	building	dormitory	
56 supermarket	shop	supermarket	
57 train station	building	train_station	
58 university	amenity	university	
59 vacant shop	shop	vacant	
60 waste disposal	amenity	waste_basket; waste_disposal	

Tabella A 2.3 Risultati delle regressioni LASSO: categorie OSM con coefficienti statisticamente significativi per differenti indicatori target

youth employment rate 2020		Average disposable income per capita 2017	
regressor		regressor	
(Intercept)	30,5398	(Intercept)	17761,39
landuse industrial	2,8158	industrial	1089,419
land forest	2,7656	building university	684,9705
industrial	2,5389	office	541,3882
social centre	2,2509	social centre	536,6839
public toilet	1,994	recycling centre	503,0695
parks	1,6049	financial service	468,4748
building university	1,2241	commercial consulting office	461,4398
public transport platform	1,1274	public transport platform	437,8698
recreation ground	0,8224	recreation ground	337,0579
fast food	0,4458	art shop	283,026
food beverage	0,3728	emergency service	225,4643
retail	0,3127	mosque	178,9435
education service	0,2749	residential	165,6362
medic service	0,2262	student dormitory	101,7434
landuse residential	0,213	parks	98,6413
commercial consulting office	0,1956	retail	17,029
non profit activity office	0,1865	sport leisure	-0,7159
office	0,1519	landuse commercial	-23,9054
university	0,0967	airports	-78,0496
waste disposal	0,0378	culture	-353,156
conference centre	-0,236	fuel station	-483,882
fuel station	-0,2585	conference centre	-513,689
sport leisure	-0,2668	bookmaker	-574,041
parking	-0,3578	train station	-827,124
landuse retail	-0,7169		
bookmaker	-1,6638		
landuse commercial	-1,8647		
culture	-2,221		
train station	-4,008		

Inadequate literacy competence 2019		% children 0-3 used childcare services 2019	
regressor		regressor	
(Intercept)	34,335	(Intercept)	14,6786
train station	2,1984	building university	2,3012
bookmaker	1,8229	industrial	2,1758
culture	1,1351	fast food	1,9879
gate terminal	0,7166	recycling centre	1,6752

building university	-0,0309	vacant shop	0,7769
non profit activity office	-0,1015	residential	0,4051
social centre	-0,1064	marina	0,28
sport hall	-0,1128	government building	0,2602
military building	-0,1207	recreation ground	0,2176
parking	-0,2307	art shop	0,1745
retail	-0,3258	non profit activity office	-0,0821
recycling centre	-0,5656	hospital	-0,1261
commercial consulting office	-1,3121	fuel station	-0,6991
waste disposal	-1,5751	landuse residential	-0,8824
landuse industrial	-2,0266	military building	-0,9673
land forest	-2,2351	train station	-1,2243
industrial	-2,2765	bookmaker	-1,5672

youth unemployment rate 2021

regressor	
(Intercept)	29,2992
bookmaker	1,9823
financial service	-0,2143
recreation ground	-0,2358
recycling centre	-2,1741
landuse industrial	-3,821

NEET 2020

regressor	
(Intercept)	22,7
bookmaker	2,1802
train station	2,074
landuse commercial	0,9005
agriculture building	0,0142
social centre	-0,0172
financial service	-0,0243
fitness centre	-0,11
fast food	-0,1698
retail	-0,179
commercial consulting office	-0,2973
sport hall	-0,6134
parks	-0,6912
waste disposal	-0,8756
land forest	-0,902
public transport platform	-0,9118

landuse industrial	-1,0727
building university	-1,4381
recreation ground	-1,4477
industrial	-2,1711

misure OSM calcolate come conteggi per cinquemila abitanti

APPENDICE CAPITOLO III

Tabella A3.1 Definizioni delle variabili e fonti dati

Firm-level variables		
Variable	Definition	Source
Age	$\text{INT}((\text{TODAY}() - \text{Year of fundation})/365,25)$	
Size	N. of employees, 2019	
Indebt	Debts/total assets	
Rollover	Short-term debts/total debts	
Productivity	Value added/N. of employees	
Rollover	Short-term debts/total debts	AIDA-BvD
Financial dependency (Indebt)	Debts/total assets	database
ROA	Income /total assets	
ROD	Return on Debt: Financial costs / Total debt	
ROI	Operating income / total assets	
Website	Binary variable: 1 if firm has a website; 0 otherwise	
Vertical integration	Value added/Total sales	
Group_dummy	Binary variable: 1 if N. of firms in the group is at least 1; 0 otherwise	
Network contract dummy	Binary variable: 1 if the firm was part of a network contract (first introduced by the Italian Law n. 33/ of 2009) at the end of 2019	Infocamere
Contextual and emergency policy variables		
Variable	Definition	Source
KIS specialization - Incidence of employees in high-tech establishments over total employment, LLS	Ratio (%) between the number of employees in establishments active in high-tech and knowledge-intensive sectors and the total number of employees in local units, average 2017-2019 for the LLS	ISTAT
Industrial district	Binary variable: 1 if the firm is in a local labor system according to ISTAT classification (ISTAT, 2015)	ISTAT (2015)
Lockdown days	N. of days under forced shutdown: nationwide (2020: 55 days) + additional lockdown days basis (only red zone) in the second half of 2020 until June 2021 differentiated on a regional, in log	

Tabella A3.2. Aggregazione settoriale della classificazione 2-digit ATECO

Industry grouping	ATECO 2-digit divisions of economic activities
Agri-food	<p>Agricultural crops and production of animal products, hunting and related services (A01)</p> <p>Forestry and use of forest areas (A02)</p> <p>Fishing and aquaculture (A03)</p> <p>Food industries (C10)</p> <p>Beverage industry (C11)</p> <p>Tobacco industry (C12)</p>
Construction	<p>Manufacture of other non-metallic mineral products (C23)</p> <p>Building construction (F41)</p> <p>Civil Engineering (F42)</p> <p>Specialized construction work (F43)</p> <p>Real estate activities (L68)</p>
Mechanics	<p>Metal products, excl. Machinery and equipment (C25)</p> <p>Computer, electronic and optical products, electromedical devices (C26)</p> <p>Manufacture of electrical equipment and non-electrical household equipment (C27)</p> <p>Machinery and equipment n.e.c. (C28)</p> <p>Manufacture of vehicles, trailers and semi-trailers (C29)</p> <p>Manufacture of other transport (C30)</p>
Fashion and furniture	<p>Textiles (C13)</p> <p>Clothing (C14)</p> <p>Leather products (C15)</p> <p>Wood and wood and cork products industry (C16)</p> <p>Furniture (C31)</p>
Other manufacturing	<p>Paper and paper products (C17)</p> <p>Printing and reproduction of recorded media (C18)</p> <p>Coke and petroleum refining products (C19)</p> <p>Chemical products (C20)</p> <p>Farmaceutical products (C21)</p> <p>Rubber and plastic products (C22)</p> <p>Metallurgy (C24)</p> <p>Other manufacturing n.e.c. (C32)</p>

