

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea di II livello

Analisi dell'impatto delle tecnologie a banda ultra larga sulla crescita
economica locale

Relatore

Prof. Carlo Cambini

Correlatore

Prof. Lorien Sabatino

Candidata

Federica Bottero

Anno Accademico 2023-2024

Indice

| | |
|--|----|
| Premessa e scopo del lavoro | 5 |
| 1.1 Definizioni | 8 |
| 1.2 Analisi delle tecnologie | 12 |
| 1.3 Diffusione delle tecnologie ADSL e fibra ottica in Italia..... | 17 |
| 1.4 Strategie a livello europeo | 20 |
| 1.5 Impatto ambientale delle infrastrutture digitali: sfide e opportunità per un futuro sostenibile | 25 |
| Capitolo 2: Analisi della letteratura | 29 |
| 2.1 Impatti economici | 29 |
| 2.1.1 Impatto sulla crescita economica | 29 |
| 2.1.2 Implicazioni sul mercato del lavoro e sulla disoccupazione | 31 |
| 2.1.4 Effetti sul tasso di ricerca del lavoro e sull'efficienza del matching nel mercato occupazionale..... | 40 |
| 2.3 Effetti distorsivi derivanti dall'utilizzo di internet | 44 |
| Capitolo 3: Analisi del Dataset..... | 47 |
| 3.1 Descrizione del Dataset | 47 |
| 3.2 Esplorazione del dataset..... | 50 |
| 3.2.1 Diffusione della banda larga..... | 50 |
| 3.2.2 Diffusione della configurazione FTTH | 56 |
| 3.2.3 Analisi del reddito | 63 |
| Capitolo 4: Analisi Econometrica..... | 74 |
| 4.1 Metodo Ordinary Least Squares (OLS)..... | 74 |
| 4.1.1 Specificazioni del modello per il caso di studio | 80 |
| 4.1.2 Risultati stime OLS..... | 83 |

| | |
|---|-----|
| 4.2 Metodo IV | 113 |
| 4.2.1 Specificazioni del modello | 115 |
| 4.2.2 Analisi dello strumento | 116 |
| 4.2.3 Analisi stime IV | 118 |
| 4.3 Analisi comparativa stime IV e OLS..... | 121 |
| Conclusioni | 125 |
| Sitografia..... | 128 |
| Bibliografia..... | 129 |

Premessa e scopo del lavoro

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, ICT, sono oggi universalmente riconosciute come General Purpose Technologies (GPT), ossia tecnologie pervasive che influenzano trasversalmente diversi settori economici, determinando cambiamenti profondi e duraturi. Le GPT si distinguono per la capacità di adattarsi a molteplici contesti eterogenei, migliorare nel tempo attraverso innovazioni incrementali e generare esternalità positive che si estendono ben oltre il settore o l'area geografica in cui vengono inizialmente implementate. In quanto *enabling technologies*, le ICT offrono una piattaforma per l'innovazione tecnologica, consentendo l'emergere di soluzioni avanzate, come il *cloud computing*, l'intelligenza artificiale e *l'Internet of Things*, che si basano tutte sulla connettività e sulla capacità di calcolo avanzata fornita dalle infrastrutture digitali. Inoltre, le ICT sono fondamentali per creare *innovation complementarities*, ossia complementarità nell'innovazione, poiché migliorano l'efficienza e l'efficacia dei processi produttivi e di gestione delle imprese, stimolando ulteriormente l'adozione di nuove tecnologie e il miglioramento continuo. Questo effetto di complementarità nell'innovazione si traduce in un aumento della competitività delle imprese che adottano le ICT, favorendo il loro adattamento ai mercati digitali globali e accelerando la trasformazione digitale dei settori tradizionali.

Tra gli esempi storici di GPT troviamo l'elettricità e il motore a vapore, tecnologie che hanno trasformato radicalmente le strutture produttive e sociali del loro tempo. Allo stesso modo, le ICT svolgono un ruolo centrale nella trasformazione digitale dell'economia moderna, abilitando nuovi modelli di business, favorendo l'automazione e la condivisione delle informazioni, e accelerando il processo di innovazione in svariati settori.

Nel contesto della crescita economica e dello sviluppo tecnologico, le ICT sono state identificate come un fattore chiave per migliorare la produttività delle imprese, aumentare l'efficienza dei mercati del lavoro e promuovere l'integrazione economica a livello regionale e globale. Le reti a banda larga e ultra-larga, in particolare, rappresentano un'infrastruttura fondamentale per l'economia moderna, consentendo una connessione più rapida e affidabile tra imprese, istituzioni e individui. Questo facilita l'accesso ai

mercati digitali, riduce i costi di transazione e rende possibile l'adozione di soluzioni innovative.

Il rapporto "The State of Broadband 2024" sottolinea l'importanza cruciale della banda larga come motore di sviluppo economico globale, evidenziando che, entro la fine del 2024, oltre il 67% della popolazione mondiale sarà connessa a Internet. Tuttavia, persistono sfide significative, infatti circa il 38% della popolazione mondiale vive in aree coperte dalla banda larga mobile, ma non è in grado di accedervi, e il 5% della popolazione rimane completamente privo di copertura. Colmare questo divario digitale rappresenta un passo essenziale per promuovere l'inclusione e lo sviluppo economico, garantendo che tutti possano beneficiare delle opportunità offerte dalla trasformazione digitale.

Nella presente tesi, l'obiettivo principale è analizzare l'impatto economico delle infrastrutture ICT, in particolare la diffusione delle connessioni mediante fibra ottica, sul territorio italiano, con un focus sulle dinamiche di crescita dell'economia locale.

Il presente elaborato si compone di un primo capitolo in cui si introduce il concetto di infrastrutture digitali, concentrandosi sulla banda larga e sulla banda ultra-larga. Viene fornita una panoramica delle tecnologie principali, tra cui ADSL, VDSL e fibra ottica, evidenziando come queste siano evolute nel tempo e quali siano le principali differenze in termini di velocità di connessione e capacità di trasmissione dati. Inoltre, il capitolo discute la diffusione di tali tecnologie in Italia, analizzando la copertura delle reti in fibra ottica e i progressi fatti nel contesto delle strategie europee e nazionali per la digitalizzazione. In particolare, viene esaminato l'impatto della Strategia Europea per la Gigabit Society 2025 e gli interventi italiani per garantire la diffusione della banda ultra-larga in tutto il territorio, con un focus sulle sfide infrastrutturali e le opportunità offerte dalle nuove tecnologie di rete per lo sviluppo economico. Infine, vengono esplorati anche aspetti legati alla sostenibilità delle infrastrutture digitali, analizzando l'impatto ambientale delle reti di telecomunicazione e il potenziale contributo delle ICT alla riduzione delle emissioni di carbonio grazie a modelli di lavoro da remoto e l'adozione di tecnologie verdi.

Il secondo capitolo offre una revisione della letteratura esistente sull'impatto delle ICT, con un'attenzione particolare alla banda larga e alla banda ultra-larga, sul mercato del lavoro e sulla crescita economica. Viene esaminato un ampio spettro di studi che

dimostrano come gli investimenti in infrastrutture digitali generino effetti sia diretti che indiretti sull'economia. Gli effetti diretti includono la creazione di posti di lavoro legati alla costruzione e alla manutenzione delle reti digitali, mentre gli effetti indiretti riguardano l'incremento della produttività e l'innovazione delle imprese che adottano tecnologie digitali avanzate. Viene esplorato anche il concetto di *skill-biased technological change*, che evidenzia come le tecnologie ICT tendano a favorire i lavoratori qualificati, aumentando le disuguaglianze salariali tra lavoratori specializzati e non specializzati. La letteratura viene quindi analizzata attraverso una lente empirica, con studi che dimostrano come l'adozione della fibra ottica e delle reti a banda larga abbia contribuito alla crescita del PIL nei paesi OCSE, migliorando le condizioni economiche locali. Alcuni studi esaminati si focalizzano sull'Italia, mostrando come la diffusione delle tecnologie digitali sia stata eterogenea e concentrata nelle aree urbane, con un impatto disomogeneo sulle regioni meno sviluppate.

Il terzo capitolo esamina in modo approfondito il dataset disponibile per valutare gli effetti della banda ultra-larga sulla crescita economica, con particolare attenzione alla diffusione delle tecnologie UBB e FTTH. L'analisi mette in luce le discrepanze sia temporali che geografiche, e si estende anche alla comprensione delle variazioni di reddito.

Nel quarto capitolo si analizzano gli effetti dell'introduzione della tecnologia UBB sul PIL, investigando in particolare se tale effetto sia attribuibile prevalentemente alla crescita del PIL pro capite o all'aumento della partecipazione economica, misurata dall'ammontare di persone coinvolte nella generazione del PIL. Inizialmente, viene presentata una stima basata sul modello OLS, che fornisce un'analisi preliminare dell'effetto generale di UBB sul PIL. Successivamente, il capitolo si focalizza sull'approccio a variabili strumentali (IV), con l'obiettivo di ottenere stime più accurate e ridurre i *bias* derivanti dalla causalità inversa e dalle variabili omesse. L'uso dell'IV consente di isolare l'effetto causale della UBB, offrendo una comprensione più robusta dell'impatto dell'infrastruttura digitale sulla crescita economica.

Capitolo 1: Infrastrutture digitali: banda larga e ultra larga, una panoramica

1.1 Definizioni

Nell'ambito delle telecomunicazioni, il termine banda larga si riferisce alle tecniche che permettono a più segnali di coesistere sulla medesima linea di trasmissione. Tali reti sono composte da componenti passive e attive. Le componenti passive includono cavi, pali, fibre ottiche e armadi di distribuzione, mentre le componenti attive comprendono dispositivi come router e antenne. Con l'incremento delle velocità di trasmissione, il concetto di banda larga è stato progressivamente associato a elevati livelli di *throughput*, fino a divenire sinonimo di alta velocità. Di conseguenza, dispositivi come i modem a 56 Kbps, che tecnicamente operano su banda larga secondo la definizione classica, vengono oggi classificati come *narrowband*, ossia a banda stretta, a causa delle limitate capacità trasmissive rispetto agli standard attuali.

La definizione di banda larga è stata, e continua ad essere, oggetto di dibattito all'interno dei gruppi di lavoro istituiti da governi e organizzazioni sovranazionali. Sono emerse diverse prospettive su come definire il concetto: ad esempio, la Federal Communications Commission (FCC) degli Stati Uniti ha adottato un approccio basato unicamente sulla capacità di trasmissione, espressa in Kbps, mentre altri paesi, come il Canada, hanno optato per una definizione focalizzata principalmente sulla tipologia di servizi erogabili tramite tali infrastrutture. Quest'ultima posizione riflette la consapevolezza che parametri basati esclusivamente sulla velocità di trasmissione rischiano di diventare rapidamente obsoleti, data la velocità del progresso tecnologico e l'evoluzione delle esigenze della società digitale.

In Italia, il Ministero delle imprese e del made in Italy ha stabilito che la banda larga, nota anche come *broadband*, designa un sistema di trasmissione e ricezione di dati informativi attraverso la rete Internet, caratterizzato da una velocità di trasferimento superiore a 2 Mbps. La banda larga ha rappresentato una vera e propria rivoluzione tecnologica, rendendo possibili applicazioni più avanzate e consentendo un accesso più rapido e affidabile a informazioni e servizi. Una connessione a banda larga infatti, è in grado di

gestire grandi volumi di dati, permettendo l'accesso simultaneo a servizi quali ad esempio la navigazione web, lo streaming di video e il download di file.

Per quanto riguarda la banda ultra larga, o *ultra broadband*, essa è stata definita una connessione avente velocità di download effettiva pari o superiore a 30 Mbps. Tale soglia consente un'ulteriore espansione delle applicazioni digitali, infatti essa permette di utilizzare servizi avanzati quali ad esempio la telemedicina, il lavoro da remoto su larga scala e la didattica a distanza. Le infrastrutture in grado di fornire tali velocità sono le reti NGA (*Next Generation Access*), esse si basano su tecnologie di nuova generazione, come la fibra ottica, per garantire elevate velocità e stabilità superiore rispetto alle tecnologie precedenti. In particolare, le reti NGA sono progettate per sostenere il crescente fabbisogno di dati da parte degli utenti privati e aziendali, in un contesto sempre più dominato dalla digitalizzazione e dalla trasformazione digitale di numerosi settori economici. Qualora la velocità di connessione superasse significativamente i 100 Mbps in download fino a raggiungere 1 Gbps, le reti a cui si fa riferimento sono del tipo NGA-VHCN (*Very High Capacity Networks*). Queste reti ad altissima capacità sono alla base di applicazioni innovative, quali ad esempio la realtà aumentata e virtuale e le *smart city*, che richiedono connessioni estremamente rapide e affidabili per il corretto funzionamento. La diffusione delle reti NGA-VHCN rappresenta un punto di svolta per lo sviluppo di nuove tecnologie che dipendono dall'elaborazione di una grande mole di dati in tempo reale, come i veicoli autonomi e le applicazioni industriali avanzate, inoltre favorisce l'espansione del commercio digitale e della globalizzazione economica.

Tuttavia, come già anticipato in precedenza, è importante sottolineare che le definizioni di banda larga e ultra banda larga non sono uniformi a livello internazionale, e possono variare considerevolmente a seconda delle istituzioni e delle regioni geografiche.

A livello globale, l'International Telecommunication Union (ITU), agenzia specializzata delle Nazioni Unite per le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, ha storicamente stabilito che una connessione a banda larga dispone di una velocità di trasmissione pari o superiore a 256 Kbps. Sebbene pionieristica al momento della sua introduzione, questa definizione è ora considerata superata a causa dell'evoluzione tecnologica e delle crescenti esigenze di connettività. Ad oggi, l'ITU non fornisce una definizione universale per la banda ultra larga, ma nella letteratura tecnica e nelle politiche di sviluppo si considera ultra larga una connessione con velocità di almeno 100

Mbps, necessaria per gestire applicazioni avanzate come il cloud computing e lo streaming video ad alta definizione.

All'interno dell'Unione Europea, il concetto di banda larga è di cruciale importanza, soprattutto in relazione alle politiche dell'Agenda Digitale e della Società Gigabit 2025. In questo contesto, l'Unione Europea definisce la banda larga come una connessione in grado di fornire almeno 30 Mbps, con l'obiettivo di assicurare, entro il 2025, l'accesso a connessioni da 1 Gbps in tutte le principali infrastrutture sociali ed economiche, incluse le aree rurali. Questa soglia è considerata sufficiente per sostenere il processo di digitalizzazione, promuovendo l'accesso a servizi digitali avanzati, favorendo l'innovazione e migliorando la competitività economica globale.

Negli Stati Uniti, la Federal Communications Commission (FCC) ha stabilito una velocità minima per definire una connessione a banda larga pari a 25 Mbps in download e 3 Mbps in upload. Tuttavia, questa definizione è stata criticata, in quanto non rispecchierebbe adeguatamente le crescenti esigenze di connettività in un contesto tecnologico sempre più complesso e intensivo.

In altri contesti, come Giappone e Corea del Sud, noti per la loro leadership tecnologica nelle telecomunicazioni, le reti in fibra ottica e le infrastrutture 5G hanno fissato nuovi standard, con velocità di 1 Gbps ampiamente disponibili. In questi paesi, la banda ultra larga è considerata un prerequisito per la competitività economica e l'innovazione tecnologica.

Differenze significative nelle definizioni di banda larga e ultra banda larga si riscontrano anche nei paesi in via di sviluppo, dove le infrastrutture di telecomunicazione spesso non raggiungono gli standard dei paesi sviluppati. In molte nazioni africane e asiatiche, ad esempio, le connessioni classificate come banda larga possono avere velocità inferiori a 10 Mbps, a causa di limitazioni infrastrutturali e degli ingenti costi delle tecnologie avanzate. Questa disparità contribuisce ad ampliare il divario digitale globale, generando disuguaglianze nell'accesso alle opportunità economiche e sociali e ostacolando lo sviluppo delle economie digitali emergenti.

Pertanto, l'evoluzione costante delle tecnologie di rete, come il 5G e la crescente diffusione dell'infrastruttura in fibra ottica, sta portando a una revisione delle definizioni di banda larga e ultra banda larga da parte delle principali istituzioni internazionali. Con l'aumento delle esigenze di connettività, legate alla digitalizzazione dei settori economici

e all'adozione di tecnologie emergenti quale ad esempio l'intelligenza artificiale, è probabile che le soglie di velocità attualmente considerate adeguate saranno ulteriormente elevate nei prossimi anni.

In questo contesto, è essenziale comprendere come l'infrastruttura di rete e le connessioni a banda larga influiscano sulla disponibilità e sull'efficacia dei servizi digitali, i quali stanno acquisendo sempre più maggiore rilevanza all'interno della società contemporanea. Come evidenziato nella Figura 1, Internet rappresenta solo uno dei diversi servizi erogabili tramite una rete a banda larga. La peculiarità di questo servizio risiede nel suo ruolo di piattaforma di comunicazione, che consente la distribuzione di un ampio ventaglio di applicazioni e contenuti. Numerosi servizi a banda larga possono essere offerti come applicazioni che si sovrappongono al servizio Internet, come la comunicazione audio e video, l'e-health, le smart home e l'intrattenimento. Per questa ragione, tali applicazioni vengono spesso definite servizi *over the top*, o semplicemente OTT. A differenza dei servizi a banda larga, un servizio OTT non richiede un accesso diretto alla connessione a banda larga di un utente specifico, infatti necessita soltanto di essere disponibile su Internet, generalmente attraverso un server, per poter essere utilizzato da tutti gli utenti, indipendentemente dalla loro ubicazione geografica. A titolo esemplificativo, i servizi OTT comprendono applicazioni di streaming video come Netflix e YouTube, servizi di messaggistica istantanea come WhatsApp e Telegram, e piattaforme di comunicazione come Skype e Zoom.

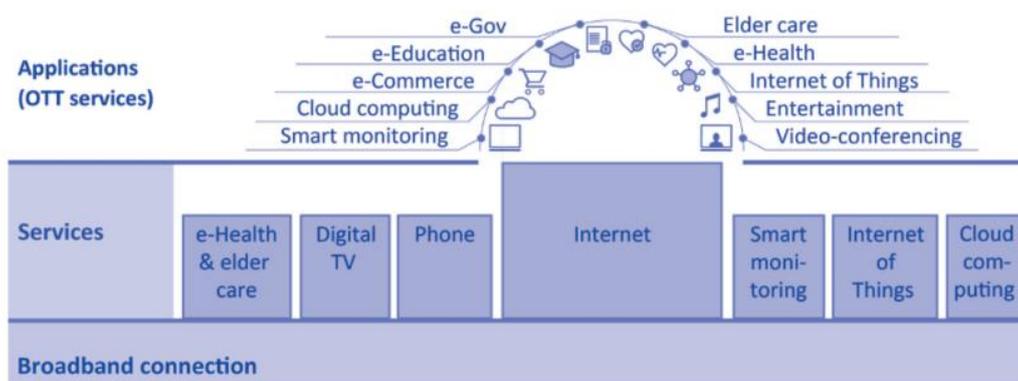


Figura 1: Servizi digitali e OTT consentiti tramite connessioni a banda larga

1.2 Analisi delle tecnologie

La rete di accesso a banda larga è composta da tre elementi principali (Figura 2): la rete dorsale, il miglio intermedio e l'ultimo miglio¹.



Figura 2: Infrastruttura di rete a banda larga (Corte dei conti europea)

La dorsale, o rete centrale, rappresenta il cuore dell'infrastruttura di trasporto dati, è fondamentale per la distribuzione delle informazioni a livello nazionale e internazionale. Essa è costituita dai nodi principali della rete OPB (Optical Backbone), i quali fungono da punti nevralgici di interconnessione. I nodi OPB sono collegati da percorsi a lunga distanza caratterizzati dall'alta capacità, generalmente sono costituiti da cavi in fibra ottica, che consentono una trasmissione veloce ed efficiente dei dati. Questa struttura portante è progettata per gestire grandi volumi di traffico, fornendo la capacità necessaria per supportare i servizi di telecomunicazione su larga scala, come quelli utilizzati da società e istituzioni.

Il miglio intermedio si riferisce al segmento della rete che collega le centrali di telecomunicazione locali con i nodi della rete dorsale OPB. In questa fase, il traffico dati generato a livello locale, sia da utenti privati che da imprese, viene indirizzato verso la rete dorsale. Le centrali locali svolgono un ruolo cruciale in quanto, aggregano il traffico proveniente dalle reti di accesso e lo inviano verso la dorsale per il trasporto a lunga distanza.

Il miglio intermedio può includere diverse tecnologie di trasporto, quali ad esempio cavi in fibra ottica o in rame, a seconda delle infrastrutture disponibili nella specifica area

¹ Tratto che congiunge la prima centrale di commutazione e il cliente finale

geografica. Questa parte della rete è essenziale per garantire una connessione continua e affidabile tra le reti di accesso locali e l'infrastruttura di trasporto nazionale. Una gestione efficiente di questa fase del processo è fondamentale per evitare colli di bottiglia e assicurare che il traffico dati possa fluire senza interruzioni verso i nodi centrali della rete OPB, dove sarà poi convogliato verso altre destinazioni nazionali o internazionali.

Infine, l'ultimo miglio rappresenta un segmento cruciale all'interno dell'architettura delle reti di telecomunicazione, in quanto costituisce l'ultima tratta che connette le infrastrutture della rete agli utenti finali. Questa porzione della rete è di fondamentale importanza in quanto, attraverso l'uso di tecnologie avanzate, consente a privati, aziende e istituzioni di accedere a Internet e a una vasta gamma di servizi digitali con velocità e affidabilità significativamente superiori rispetto alle tradizionali connessioni dial-up². Le innovazioni nell'ultimo miglio hanno permesso di migliorare drasticamente l'esperienza utente, riducendo la latenza e aumentando la capacità di trasmissione ossia aspetti fondamentali per supportare le esigenze digitali contemporanee.

L'ultimo miglio, nonostante la sua brevità fisica rispetto al resto della rete, è un punto delicato, infatti spesso costituisce il collo di bottiglia della rete, in quanto l'inefficienza di tale tratto può compromettere le prestazioni complessive dell'intera connessione. Le tecnologie impiegate in questo tratto devono quindi essere ottimizzate per garantire che i dati viaggino in modo rapido ed efficiente dall'infrastruttura centrale fino ai dispositivi degli utenti. Ciò assume particolare rilevanza nelle aree densamente popolate, dove la gestione di grandi volumi di traffico è essenziale per evitare congestioni e cali di prestazione.

Le principali tecnologie a banda larga, che verranno analizzate in dettaglio nella Tabella 1, possono essere suddivise in due grandi macro-categorie: tecnologie cablate e tecnologie wireless. Le tecnologie cablate includono tutte quelle che si basano sull'uso di supporti fisici tangibili per la trasmissione dei dati. Tra queste, troviamo i cavi in rame e le infrastrutture in fibra ottica, che rappresentano lo standard attuale per il trasporto dati ad alta velocità. Altre tecnologie cablate possono includere sistemi di cavi coassiali e, in

² Connessione che utilizza la linea telefonica e il modem per accedere ai servizi Internet. Essa costituisce una delle le prime forme di collegamento online, particolarmente diffusa negli anni '90 e nei primi 2000. Di norma offre velocità di connessione molto ridotte, intorno ai 56 kbps

alcuni casi, anche soluzioni ibride che combinano più tipi di conduttori fisici per ottimizzare le prestazioni della rete.

Le tecnologie *wireless*, d'altro canto, non richiedono un supporto fisico per la trasmissione dei dati, bensì sfruttano onde elettromagnetiche per la trasmissione dei dati. Questo gruppo di tecnologie include il Wi-Fi, che consente la connessione a reti locali senza fili in spazi domestici, pubblici o aziendali, e il Bluetooth, che è usato per collegamenti a breve distanza tra dispositivi. Un ruolo fondamentale è giocato anche dalle reti cellulari, come le tecnologie 4G LTE e le emergenti reti 5G, che permettono connessioni ad alta velocità su scala globale, migliorando la copertura in aree rurali e offrendo supporto a dispositivi mobili in costante crescita. Le tecnologie wireless, grazie alla loro flessibilità, stanno acquisendo sempre più rilevanza nelle reti di accesso, soprattutto in contesti dove l'installazione di infrastrutture fisiche risulterebbe costosa o complessa, come nelle aree remote o difficili da raggiungere.

Tabella 1: Panoramica delle tecnologie a banda larga³

| TECNOLOGIA | CARATTERISTICHE PRINCIPALI |
|---|---|
| <i>DSL (Digital Subscriber Line)</i> | Tecnologia largamente diffusa, sfrutta l'infrastruttura in rame delle linee telefoniche. Esistono diverse varianti, le più diffuse sono l'ADSL (Asymmetric DSL), dispone di velocità di download superiore rispetto a quella di upload, e la VDSL (Very-high-bit-rate DSL), che offre velocità significativamente più elevate rispetto all'ADSL |
| <i>Cable broadband</i> | Utilizza l'infrastruttura dei servizi di televisione via cavo. I dati sono trasmessi attraverso cavi coassiali, e la velocità di connessione può variare a seconda della congestione della rete |
| <i>BPL (Broadband over Power Lines)</i> | Per trasferire informazioni si avvale delle linee elettriche preesistenti |
| Fibra ottica | Utilizza cavi in fibra di vetro per trasmettere i dati tramite impulsi luminosi. Sopperisce alla dispersione di potenza delle soluzioni basate su cavi di rame |
| <i>Wireless broadband</i> | Comprende tecnologie che forniscono accesso a Internet tramite connessioni senza fili. Le principali sono Wi-Fi e <i>mobile broadband</i> (3G, 4G, 5G). |
| <i>Satellite broadband</i> | Connessione internet bidirezionale stabilita mediante satelliti per le comunicazioni situati nell'orbita geostazionaria (GEO) o non geostazionaria (NGSO). |

³ Fonte: Commissione europea

Le tecnologie per la banda ultra larga rappresentano un'evoluzione delle infrastrutture precedentemente analizzate, esse sono state progettate per incrementare significativamente sia la velocità di trasmissione sia la capacità di gestione dei dati. Queste soluzioni offrono *throughput* superiori rispetto alle tecnologie a banda larga, consentendo un efficiente trasferimento di dati su lunghe distanze. Per garantire queste prestazioni la tecnologia maggiormente adottata è la fibra ottica nelle sue molteplici configurazioni. Essa offre performance superiori rispetto all'infrastruttura in rame in quanto minimizza le dispersioni, di conseguenza le prestazioni non dipendono in modo significativo dalla distanza che intercorre tra centrale e ubicazione finale. Tali tecnologie sono implementabili in settori come il *cloud computing*⁴, l'IoT⁵ e l'intelligenza artificiale⁶. In Italia, la fibra ottica è presente sotto forma di tre configurazioni: FTTC, FTTB e FTTH (Figura 3).

Architetture di rete

Dal rame alla fibra con tre soluzioni complementari e scalabili!

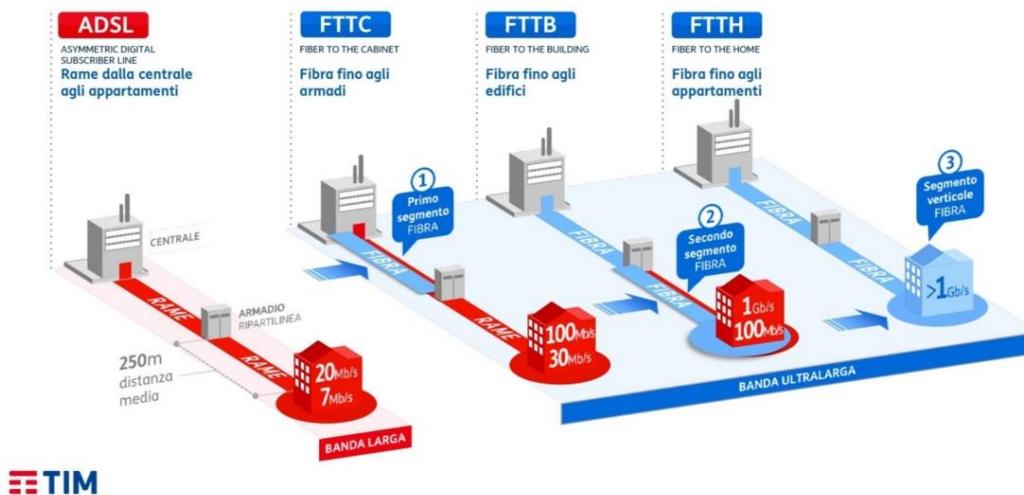


Figura 3: Infrastrutture digitali: dall'ADSL alla fibra ottica nelle sue tre configurazioni

⁴ Paradigma che permette rapide innovazioni, scalabilità delle risorse e ottimizzazione dei costi attraverso economie di scala. Questi vantaggi sono resi possibili grazie all'accesso a risorse informatiche come server, storage, database, rete, software, strumenti di analisi e intelligenza artificiale, fruibili tramite Internet

⁵ Internet of Things: rete di dispositivi e oggetti connessi a Internet tramite sensori o altre tecnologie che permettono la condivisione di dati

⁶ Consente di effettuare delle predizioni in contesti in cui le informazioni sono carenti o limitate. È definita "intelligenza artificiale" in quanto la capacità di predizione, insieme a creatività e incremento della produttività costituiscono una base fondamentale dell'intelligenza. L'IA si fonda su algoritmi di machine learning che generano previsioni sfruttando tre tipologie di dati: dati di addestramento, dati di input e dati di feedback

FTTC (*fiber to the cabinet*), essa prevede che il primo segmento dell'ultimo miglio, fino al *cabinet*⁷, sia realizzato in fibra ottica, mentre il tratto finale si avvale dell'infrastruttura preesistente in rame. Tale architettura consente all'operatore di risparmiare in termini di investimenti infrastrutturali, migliorando al contempo le performance, infatti, le velocità di download raggiunte variano tipicamente da un minimo di 30 Mbps a un massimo di 100 Mbps. L'FTTC rappresenta la tecnologia che attualmente è la più diffusa nei comuni italiani in relazione ai minori costi di realizzazione e alla velocità di implementazione.

FTTB (*fiber to the building*), consiste in una connessione mediante fibra ottica fino ad un edificio centrale, mentre il collegamento ai singoli appartamenti è realizzato tramite i tradizionali cavi in rame. Questa soluzione consente di raggiungere velocità in download che variano da 100 Mbps a 1 Gbps.

FTTH (*fiber to the home*) in questa configurazione, l'infrastruttura dell'ultimo miglio è realizzata interamente in fibra ottica, consentendo performance nettamente superiori rispetto alle altre tecnologie in quanto garantisce maggiore stabilità e non risente di cali di prestazioni o interruzioni del segnale. Tale tecnologia rende possibile ottenere velocità superiori a 1Gbps sia in download sia in upload. Tuttavia, nonostante gli aspetti positivi che la contraddistinguono, la sua diffusione in Italia non è ancora capillare e omogenea a causa degli ingenti costi di investimento.

1.3 Diffusione delle tecnologie ADSL e fibra ottica in Italia

Dopo aver esaminato le configurazioni della fibra ottica in Italia, procederemo ad analizzare la loro diffusione sia a livello della popolazione sia dei comuni nel periodo compreso tra il 2012 e il 2019. Inoltre, confronteremo la fibra ottica con la tecnologia ADSL, valutando l'adozione e la copertura delle diverse soluzioni di connettività sul territorio nazionale (Figura 4). Dal grafico (a) si evince che, nel periodo 2012-2019, tutti i comuni avevano accesso ai servizi Internet tramite ADSL. Inoltre, a partire dal 2015, si osserva l'introduzione della tecnologia in fibra ottica, inizialmente con la configurazione FTTC, seguita nel 2017 dall'implementazione dell'architettura FTTH⁸.

⁷ Armadio di distribuzione che connette la tratta telefonica primaria con la tratta secondaria

⁸ FTTx nella Figura 4 si riferisce alle configurazioni FTTC e FTTH in quanto l'FTTB non è mai stata sviluppata da Telecom Italia

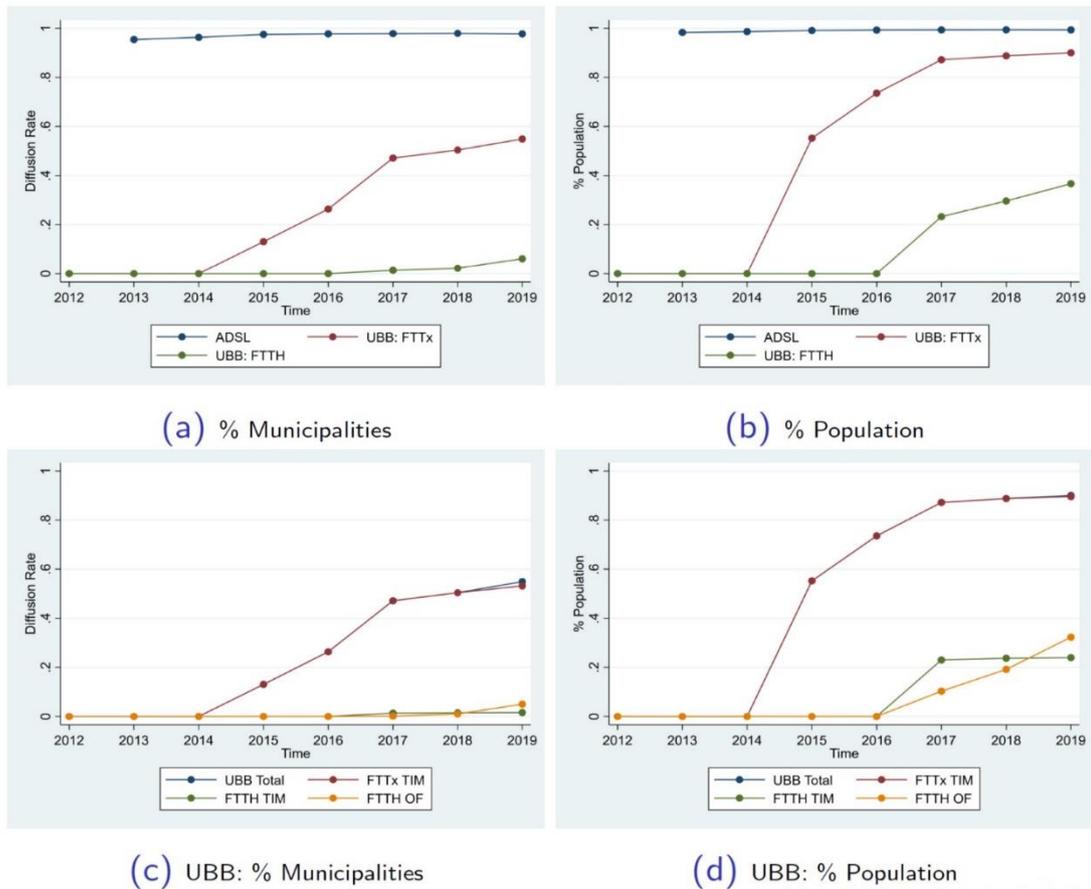


Figura 4: Diffusione delle tecnologie ADSL e fibra in Italia

Il grafico (b) mostra l'evoluzione della copertura in termini di popolazione. Anche in questo caso si nota che l'ADSL è rimasta stabile durante tutto il periodo, con una copertura che ha raggiunto quasi il 100% della popolazione italiana. Tuttavia, l'ascesa delle tecnologie in fibra, in particolare FTTC, a partire dal 2015, ha permesso di servire una porzione crescente della popolazione. La tecnologia FTTH ha iniziato a diffondersi in modo significativo a partire dal 2017, soprattutto nelle aree urbane più densamente popolate. Nel 2019, circa il 50% dei comuni italiani aveva accesso alla banda ultra larga, corrispondente a circa l'80% della popolazione, dimostrando come la diffusione di queste tecnologie sia stata inizialmente concentrata nei centri urbani ad alta densità abitativa, lasciando scoperte le aree rurali o a bassa densità fino agli anni più recenti.

Entrambi i grafici illustrano chiaramente che l'adozione delle diverse tecnologie segue il principio della curva ad S. Questo modello descrive un processo di adozione che si diffonde in modo rapido nelle fasi iniziali per poi stabilizzarsi nella fase finale quando si avvicina alla saturazione del mercato. In particolare, l'introduzione della fibra ottica si

allinea con questo principio, inizialmente si sviluppa nelle aree urbane e ad alto reddito, dove gli operatori possono effettuare investimenti profittevoli. Successivamente, la diffusione si estende anche alle aree rurali, spesso attraverso interventi pubblici, mediante processi più lenti. I grafici evidenziano questa tendenza infatti, nel 2019, il 50% di copertura dei comuni corrispondeva a circa l'80% della popolazione nazionale.

Nei grafici sottostanti (c) e (d), offrono una visione più dettagliata della diffusione della banda ultra larga, distinguendo i contributi dei due principali operatori, Telecom Italia (TIM) e Open Fiber (OF). Il grafico (c) mostra la percentuale di comuni coperti dalle varie tecnologie UBB e indica che, a partire dal 2015, Telecom Italia ha iniziato a fornire connessioni mediante fibra ottica secondo la tecnologia FTTC, seguita nel 2017 dalla FTTH. Tuttavia, è solo con l'ingresso di Open Fiber, nel 2017, che si è osservata una maggiore accelerazione nella diffusione della particolare configurazione FTTH. Open Fiber ha inizialmente concentrato i suoi sforzi nelle città con maggiore densità abitativa, dove la domanda di connettività è più alta, contribuendo così ad aumentare significativamente la copertura complessiva.

Il grafico (d), il quale mostra la copertura in termini di popolazione, evidenzia ulteriormente come le aree urbane siano state le prime a beneficiare delle nuove tecnologie. Si nota una rapida espansione della copertura da parte di Telecom Italia tra il 2015 e il 2017, soprattutto per quanto riguarda il FTTC, mentre Open Fiber ha progressivamente colmato il divario nelle aree meno servite con la sua infrastruttura FTTH a partire dal 2017. Open Fiber, società controllata da Cassa Depositi e Prestiti, ha inizialmente focalizzato i propri investimenti in infrastrutture FTTH limitatamente a comuni ad alta densità abitativa. Questo approccio è stato adottato in risposta al comportamento di Tim, allora operatore monopolista negli investimenti in banda ultra larga, che non rispettava gli impegni finanziari e abusava della propria posizione di mercato. A seguito di pratiche anticoncorrenziali, è stato necessario l'intervento dell'Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato (AGCM) per contrastare l'inefficienza dinamica, ovvero l'effetto negativo che l'abuso del potere di mercato può avere sull'innovazione. Il 25 febbraio 2020, Tim è stata accusata di abuso di posizione dominante per aver tentato di escludere il competitor Open Fiber dalle aree bianche⁹ e per aver adottato ritardi strategici negli investimenti in tali aree mediante strumenti

⁹ Aree dove, in assenza di sussidi, il mercato non giustificerebbe investimenti in infrastruttura innovativa

legali. In conseguenza di tali comportamenti, Tim è stata sanzionata con una multa di 116 milioni di euro.

Tuttavia, nonostante l'ingresso di un secondo grande *player* come Open Fiber, la copertura della banda ultra larga nel 2018 rimaneva al di sotto degli obiettivi fissati dalla Digital Agenda for Europe (DAE), con l'Italia che si attestava al 28% di copertura contro una media europea del 29%.

1.4 Strategie a livello europeo

Come discusso nell'introduzione, le ICT, information and communication technologies, sono generalmente classificate, nel dibattito pubblico, come general purpose technologies (GPT), in quanto l'implementazione di tali tecnologie produce effetti diretti e indiretti sull'economia. Data tale classificazione, è fondamentale che i paesi destinino ingenti investimenti alle infrastrutture digitali. Come illustrato in Figura 5, esiste una forte correlazione tra lo sviluppo delle tecnologie a banda fissa e la competitività di un paese.

In particolare, si osserva che i paesi nordici, i quali fino al 2013 avevano concluso maggiori investimenti nelle infrastrutture di connessione fissa, presentavano livelli di competitività significativamente superiori rispetto ad altre nazioni. Considerando tale correlazione, è essenziale che l'elaborazione di piani strategici avvenga a livello europeo, al fine di garantire condizioni e opportunità uniformi a tutti gli stati membri. Tali strategie sono recepite dai paesi che delineano specifici obiettivi a livello nazionale.

La strategia europea è stata definita il 9 marzo 2021, nel documento "Bussola per il digitale 2030: il modello europeo per il decennio digitale". Questo piano ha l'obiettivo di indirizzare la trasformazione digitale dell'Europa attraverso quattro pilastri fondamentali (Tabella 2).

In particolare, uno degli obiettivi stabiliti dalla Commissione Europea è garantire, entro il 2030, che tutte le famiglie dell'UE abbiano accesso a una connettività Gigabit e che tutte le aree abitate siano coperte da reti 5G. Questo obiettivo è in linea con la necessità di costruire infrastrutture digitali avanzate che favoriscano la competitività dei paesi e migliorino la qualità della vita dei cittadini.

Tabella 2: pilastri per la trasformazione digitale europea

| PILASTRI PER LA TRASFORMAZIONE DIGITALE | OBIETTIVI |
|--|---|
| Competenze digitali | L'obiettivo è migliorare le capacità digitali dei cittadini, garantendo che almeno l'80% della popolazione adulta acquisisca competenze digitali di base entro il 2030. Inoltre, l'Europa punta a formare almeno 20 milioni di specialisti ICT per supportare la trasformazione digitale del continente |
| Digitalizzazione delle imprese | La strategia mira a promuovere la trasformazione digitale del settore imprenditoriale, con l'obiettivo che almeno il 75% delle imprese dell'UE adottino tecnologie digitali avanzate, come l'intelligenza artificiale e la <i>blockchain</i> |
| Infrastrutture digitali sicure e sostenibili | Uno degli obiettivi più ambiziosi è garantire che tutte le famiglie europee abbiano accesso alla connettività Gigabit e che tutte le aree abitate siano coperte da reti 5G entro il 2030. Ciò include la costruzione di reti sicure, resilienti e sostenibili, sostenute da investimenti significativi nella diffusione della banda larga e nello sviluppo di centri di dati a basso impatto ambientale |
| Digitalizzazione dei servizi pubblici | L'ultimo pilastro riguarda l'accesso ai servizi pubblici digitali. Entro il 2030, tutti i principali servizi pubblici dovrebbero essere accessibili online, compresa l'assistenza sanitaria digitale. Ci si aspetta anche che almeno l'80% dei cittadini europei utilizzi l'identità digitale per accedere in modo sicuro e semplice ai servizi digitali |

Gli Stati membri hanno adottato diverse strategie per raggiungere tali obiettivi di connettività.

La Francia ha avviato il Piano Très Haut Débit (THD) con l'obiettivo di estendere la copertura della fibra ottica all'intero territorio nazionale entro il 2025. Il piano prevede investimenti fino a 20 miliardi di euro e coinvolge sia operatori privati che autorità locali.

Per le aree più isolate, sono state predisposte soluzioni alternative come reti mobili e satellitari. I dati aggiornati a novembre 2023 mostrano che la copertura della fibra FTTH ha raggiunto il 73,3% delle abitazioni, ben al di sopra della media UE del 56,5%. Inoltre, la copertura VHCN, reti ad alta capacità, ha registrato una crescita significativa negli ultimi due anni, con il 40% di adozione per connessioni di almeno 1 Gbps, superando di gran lunga la media europea del 13,8%.

L'Austria ha avviato il piano Breitbandstrategie 2030, con obiettivi intermedi significativi, come la copertura delle reti ultra veloci (100 Mbps) entro il 2020 e l'introduzione dei servizi 5G su tutte le principali rotte di traffico entro il 2023. Il piano mira a raggiungere una copertura Gigabit su scala nazionale entro il 2025 e a garantire connessioni simmetriche a 1 Gbps per tutti entro il 2030. I risultati aggiornati al 2023 mostrano una copertura VHCN pari al 54,8%, inferiore alla media UE, con sfide particolari nelle aree rurali e montuose. La copertura FTTH è al 36,6%, ben 20 punti percentuali sotto la media europea. Tuttavia, l'Austria si distingue per la propria posizione pionieristica in relazione alla copertura 5G, la quale ha raggiunto il 91,7%, superando nettamente la media UE dell'81%.

Il Piano Nazionale per la Banda Larga della Germania è delineato nella Gigabit Strategy, pubblicata nel luglio 2022. La strategia si concentra sull'obiettivo di garantire una rete ad alta capacità su tutto il territorio nazionale, stabilendo un quadro d'azione chiaro. Tra i principali obiettivi, vi è la copertura in fibra ottica (FTTH), con l'intento di raggiungere il 50% di abitazioni e imprese coperte entro la fine del 2025. Un altro aspetto chiave è garantire servizi wireless ininterrotti per voce e dati a tutti gli utenti entro il 2026. Inoltre, entro il 2030 si prevede di fornire copertura FTTH e le tecnologie mobili più avanzate in tutte le aree residenziali e lavorative. I dati aggiornati al 2023 mostrano che la copertura VHCN ha raggiunto il 70,1% delle abitazioni, un valore vicino alla media UE. Tuttavia, la copertura FTTH si attesta al 19,32%, significativamente inferiore rispetto alla media europea, evidenziando una criticità in quanto gran parte delle abitazioni non dispone di accesso diretto a reti in fibra ottica.

La Digital Spain 2025 Agenda, annunciata nel luglio 2020, rappresenta il piano strategico della Spagna per migliorare la connettività a banda larga e promuovere la digitalizzazione. Con un budget totale di 70 miliardi di euro, il piano mira a raggiungere obiettivi ambiziosi, tra cui una copertura al 100% con velocità di almeno 100 Mbps entro il 2025 e l'accesso a

connessioni a 1 Gbps per le aziende e i principali fornitori di servizi pubblici. Al 2023, la copertura VHCN ha raggiunto il 93,3% delle abitazioni, un dato che riflette una copertura nettamente superiore rispetto alla media europea. Per quanto riguarda l'adozione di configurazioni in fibra di tipo FTTH sono al 91,02%, ben al di sopra della media UE, con una copertura nelle aree rurali che raggiunge il 68%. La copertura 5G ha raggiunto l'82,3%, leggermente al di sopra della media europea, e il tasso di utilizzo della banda mobile è al 94%. La Spagna è quindi ben posizionata per raggiungere l'obiettivo di una copertura wireless 5G ininterrotta in tutte le aree urbane e lungo le principali tratte stradali entro il 2025.

In relazione alla strategia italiana, il Piano Nazionale Banda Ultra Larga, PNBUL, dell'Italia mira a raggiungere la Gigabit Society 2025 e gli obiettivi del Digital Decade 2030. Essa prevede sette interventi principali: piano aree bianche, piano voucher, piano Italia a 1 Giga, piano Italia 5G, piano scuole connesse, piano sanità connessa, piano isole minori (Tabella 3). Inoltre, l'Italia si pone l'obiettivo di portare la connettività a 1 Gbps sull'intero territorio nazionale entro il 2026, anticipando di quattro anni il termine stabilito dalla strategia europea. Gli sviluppi delle strategie implementate fino al 2023 evidenziano che la copertura delle reti VHCN ha raggiunto il 53,7% delle abitazioni, un dato significativamente inferiore rispetto alla media UE del 73,4%. Tuttavia, negli ultimi due anni si è registrato un incremento di circa 20 punti percentuali. Analogamente, la copertura FTTH (Fibra fino all'abitazione) ha raggiunto il 53,7%, con un aumento di 20 punti percentuali nello stesso periodo, avvicinandosi così alla media europea.

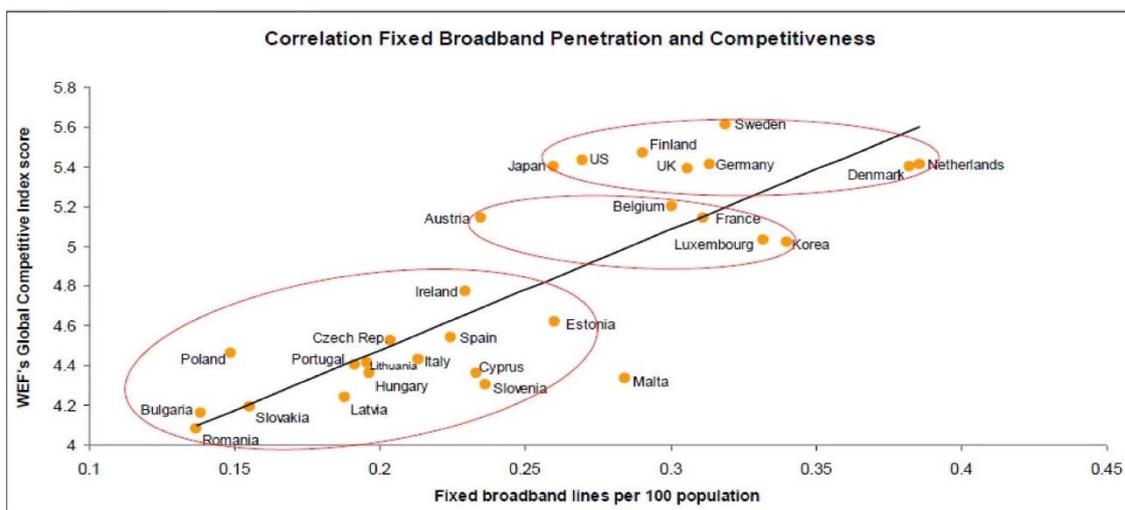


Figura 5: Correlazione tra la banda larga fissa e la competitività

Tabella 3: Analisi dei sette interventi italiani¹⁰

| PIANO | OBIETTIVI | AREE DI INVESTIMENTO |
|-----------------|--|---|
| Aree bianche | Espandere Internet veloce nelle zone a fallimento di mercato | 7.632 comuni |
| Voucher | Promuovere e incentivare la domanda di servizi a banda ultra larga (NGA e VHCN) in tutte le aree del Paese e ridurre il divario di competenze digitali | Famiglie con ISEE inferiore a 20.000€ |
| Italia a 1 Giga | Fornire alle unità immobiliari non servite da reti a banda larga, una connettività di almeno 1 Gbps in download e 200 Mbps in upload | 6.872.070 civici |
| Italia 5G | Fornire alle aree abitate copertura del 5G entro il 2026 | / |
| Scuole connesse | Fornire alle sedi scolastiche una connettività di almeno 1 Gbps in downlink e una banda minima garantita di 100 Mbps simmetrici | 9.915 sedi |
| Sanità connessa | Dotare le strutture sanitarie di connessioni ad almeno 1 Gbps fino a 10 Gbps | 12.279 strutture sanitarie |
| Isole minori | Dotare 18 isole minori nelle regioni Sicilia, Toscana, Lazio, Sardegna e Puglia di connessioni performanti tramite cavi sottomarini in fibra ottica | Linosa, Ustica, Ponza, Lampedusa, Pantelleria, Stromboli, Salina, Isole Tremiti, Alicudi, Panarea, Isole Pelagie, Favignana, Lipari, Capraia, Asinara e Ventotene |

¹⁰ Fonte: “La strategia italiana di connettività”, Camera dei deputati

1.5 Impatto ambientale delle infrastrutture digitali: sfide e opportunità per un futuro sostenibile

L'impatto antropico derivante dalla costruzione di infrastrutture tecnologiche e il relativo impatto ambientale è stato oggetto di attenzione sin dagli albori dell'industrializzazione. Un esempio rilevante è presente nel romanzo *I Malavoglia* di Giovanni Verga (1881), in cui si afferma: "Non piove più perché hanno messo quel maledetto filo del telegrafo, che si tira tutta la pioggia e se la porta via". Questo passaggio riflette la percezione dell'epoca circa l'impatto delle nuove tecnologie sull'ambiente naturale, offrendo uno spunto di riflessione sul rapporto conflittuale tra progresso tecnologico e tutela ambientale. Si evince un atteggiamento di diffidenza verso le innovazioni tecnologiche dell'epoca, viste come disturbatrici dell'equilibrio naturale. Questo rapporto complesso tra progresso tecnologico e ambiente non è cambiato oggi, infatti, la diffusione delle infrastrutture digitali, quali ad esempio le reti a banda larga e ultra larga, i centri dati e tecnologie come il 5G, rappresenta una delle principali forze propulsive della crescita economica e sociale, ma è anche associata a costi ambientali significativi.

Il settore delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) attualmente rappresenta tra il 7% e l'8% del consumo energetico globale, con previsioni che indicano un aumento fino al 13% entro il 2030. Questo incremento è legato alla crescente domanda di servizi digitali, alimentata dalla continua espansione del traffico dati e dall'adozione di tecnologie emergenti come il cloud computing, l'intelligenza artificiale (AI), e le reti di telecomunicazioni avanzate come il 5G. Il contributo del settore ICT alle emissioni globali di gas serra¹¹ è stimato intorno al 3%, una quota simile a quella dell'intero settore dell'aviazione, e si prevede che continui a crescere con l'aumentare delle attività di rete. Un aspetto critico è anche la produzione di rifiuti elettronici, RAEE, stimata a milioni di tonnellate all'anno, derivanti da dispositivi come server, telefoni e apparecchiature di rete che richiedono procedure di smaltimento e riciclo specifiche e complesse, contribuendo ulteriormente al depauperamento delle risorse naturali.

Le infrastrutture digitali, tuttavia, non rappresentano solo una sfida, ma anche un'opportunità unica per migliorare la sostenibilità globale. Le reti in fibra ottica, rispetto a quelle tradizionali in rame, sono molto più efficienti dal punto di vista energetico,

¹¹ Principali responsabili del surriscaldamento globale, i principali gas sono CO₂, N₂O, CH₄ e O₃.

consumando meno energia per la trasmissione dei dati su lunghe distanze. La loro capacità di sostenere un traffico dati significativamente maggiore rispetto alle reti in rame riduce il consumo complessivo di energia necessario per mantenere una connessione stabile e veloce, rendendole una delle soluzioni più ecologiche per il futuro della connettività. Inoltre, le reti in fibra ottica possono sfruttare le infrastrutture esistenti per minimizzare la necessità di nuovi investimenti infrastrutturali, riducendo così l'impatto ambientale legato alla produzione e installazione di nuove apparecchiature.

Un ulteriore vantaggio deriva dalle tecnologie emergenti come il 5G e *l'edge computing*, che, sebbene richiedano ingenti investimenti iniziali e una maggiore densità di infrastrutture, possono abilitare applicazioni che riducono i consumi in altri settori. Il 5G, ad esempio, abilita una serie di tecnologie come la *smart mobility* e i veicoli autonomi, che possono ridurre significativamente le emissioni di gas serra nel settore dei trasporti. Attraverso l'ottimizzazione dei percorsi di traffico e la riduzione dei tempi di inattività, queste tecnologie possono portare a una diminuzione delle emissioni fino al 37%, contribuendo alla decarbonizzazione dei trasporti urbani. Inoltre, il 5G può supportare una gestione più efficiente dei sistemi di energia e acqua nelle *smart city*, permettendo l'uso di sensori connessi per monitorare e ottimizzare l'uso delle risorse in tempo reale.

Il concetto di *edge computing*, che consente di elaborare i dati vicino alla loro origine piuttosto che in grandi strutture a livello centrale, sta guadagnando sempre più attenzione per la sua capacità di ridurre il consumo energetico delle reti. Elaborare i dati in prossimità del punto in cui vengono generati non solo riduce la latenza, ma consente anche di ridurre la quantità di energia necessaria per trasmettere questi dati su lunghe distanze. Questo è particolarmente rilevante per applicazioni che richiedono risposte in tempo reale, come la guida autonoma, la telemedicina, la manutenzione predittiva e la gestione delle reti energetiche intelligenti.

Nonostante queste opportunità, il passaggio a reti più avanzate comporta significativi costi infrastrutturali e sfide legate alla loro sostenibilità. Le reti 5G, ad esempio, richiedono una maggiore densità di antenne e stazioni base rispetto alle generazioni precedenti, il che implica un consumo energetico più elevato durante le fasi iniziali di implementazione. Tuttavia, man mano che il 5G viene integrato con tecnologie di efficienza energetica e sistemi intelligenti di gestione dell'energia, è possibile ottenere notevoli risparmi energetici su scala globale. Inoltre, la costruzione di reti resilienti e

sicure richiede ingenti investimenti in infrastrutture critiche, come i cavi sottomarini, necessari per garantire la connettività internazionale e la sicurezza delle comunicazioni in caso di calamità naturali o attacchi informatici.

L'efficienza energetica delle infrastrutture digitali può essere ulteriormente migliorata attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e la decarbonizzazione dei data center. Questi centri, che consumano quantità enormi di energia per alimentare server e processare dati, stanno sempre più adottando tecnologie verdi, come sistemi di raffreddamento ad acqua e l'uso di energia solare o eolica per alimentare le loro operazioni. Molte aziende stanno anche esplorando l'uso di tecnologie di intelligenza artificiale per ottimizzare il consumo energetico dei data center, riducendo così sia i costi che l'impatto ambientale.

L'integrazione di tutte queste soluzioni, ossia fibra ottica, 5G, *edge computing* e *smart technologies*, contribuisce a un futuro digitale più sostenibile. Tuttavia, il successo di questa transizione richiede un forte impegno da parte delle istituzioni pubbliche e private per promuovere politiche ambientali efficaci, incentivare l'adozione di tecnologie sostenibili e favorire investimenti nelle infrastrutture digitali a basse emissioni di carbonio. Senza adeguate misure politiche e regolamentari, l'Europa rischia di perdere terreno rispetto ad altre regioni del mondo, come gli Stati Uniti e l'Asia, che stanno già investendo massicciamente nella modernizzazione delle loro infrastrutture digitali.

Infine, la resilienza delle infrastrutture digitali contro disastri naturali e minacce informatiche è cruciale per garantire la sicurezza energetica e ambientale dell'Europa. Le recenti crisi geopolitiche hanno evidenziato la vulnerabilità delle reti di comunicazione e la necessità di investire in sistemi più robusti e decentralizzati. L'uso di tecnologie di crittografia avanzata, come la crittografia quantistica, può rafforzare ulteriormente la sicurezza delle reti digitali, contribuendo a proteggere le infrastrutture critiche da attacchi esterni.

In conclusione, le infrastrutture digitali rappresentano sia una sfida sia un'opportunità per un futuro sostenibile. Se da un lato il loro impatto ambientale può essere significativo, dall'altro l'adozione di tecnologie verdi e la loro integrazione nei sistemi esistenti può contribuire a ridurre le emissioni di CO₂ e a migliorare l'efficienza energetica a livello globale. Tuttavia, per il raggiungimento di questi obiettivi, è necessario un forte impegno

da parte delle autorità pubbliche e delle imprese per investire in tecnologie più sostenibili e promuovere una trasformazione digitale all'insegna della sostenibilità.

Capitolo 2: Analisi della letteratura

In questa sezione saranno esaminati i principali studi presenti in letteratura relativi all'impatto generato dalla diffusione della banda larga e della banda ultra larga sul mercato del lavoro. Successivamente, oltre alla rassegna degli studi di natura economica, verranno approfonditi ulteriori aspetti di carattere generale.

2.1 Impatti economici

L'implementazione di infrastrutture digitali determina, in linea generale, sia effetti diretti sia indiretti di natura positiva nell'economia. Gli effetti diretti riguardano l'incremento dell'occupazione e delle attività economiche, connesse alla realizzazione e alla manutenzione dell'infrastruttura stessa. Gli effetti indiretti, invece, sono correlati all'aumento della produttività, reso possibile grazie all'adozione della nuova architettura digitale. Tali benefici si manifestano al netto dei costi associati alla realizzazione e alla diffusione delle tecnologie, considerando sia le spese iniziali di implementazione sia quelle legate all'adozione su larga scala.

Le analisi economiche riguardanti l'impatto degli investimenti in ICT sul mercato del lavoro analizzano sia variabili macroeconomiche, quali il Prodotto Interno Lordo (PIL), il tasso di occupazione e la distribuzione del reddito, sia variabili microeconomiche che analizzano le dinamiche a livello individuale, concentrandosi su soggetti economici come consumatori, imprese e forza lavoro.

2.1.1 Impatto sulla crescita economica

In letteratura, numerosi studi analizzano i benefici derivanti dalla penetrazione di tecnologie digitali efficienti a banda larga e ultra larga sullo sviluppo economico dei paesi. (Tabella 4) Tali ricerche evidenziano l'impatto positivo di queste tecnologie avanzate sulla crescita economica e sulla competitività internazionale.

Czernich et al. (2011) hanno condotto uno studio in cui analizzano l'impatto della diffusione di infrastrutture a banda larga sulla crescita economica dei paesi OCSE¹². L'approccio utilizzato si basa sulle variabili strumentali, in quanto la diffusione della connessione a banda larga in un paese rappresenta una variabile endogena, ovvero soggetta all'influenza di altre variabili non osservabili e che possono influenzare le stime economiche. Questo metodo consente di affrontare il problema delle variabili omesse e incrementare l'accuratezza dei risultati.

Le fonti di endogeneità di tale variabile si possono ricondurre a tre principali fattori. In primo luogo, gli individui che risiedono in paesi ad alto reddito, grazie alla loro maggiore disponibilità a pagare per servizi avanzati, possono influenzare la penetrazione delle connessioni a banda larga, generando un problema di causalità inversa. In secondo luogo, potrebbero esistere variabili non osservabili che influiscono sulle decisioni di intervento statale, quali ad esempio il livello di sviluppo economico di un paese. Infine, vi è la possibilità di altri shock esterni che impediscono di isolare l'effetto reale della variabile di interesse, complicando l'identificazione di una relazione causale diretta.

Le variabili strumentali utilizzate nello studio includono il numero di linee di accesso alle reti di telecomunicazione e il numero di abbonati alla TV via cavo nel 1996, anno precedente all'introduzione della banda larga nel primo paese OCSE.

Tale ricerca è stata effettuata attraverso l'analisi dei dati di 25 paesi OCSE nell'arco temporale compreso tra il 1996 e il 2007.

I risultati dello studio indicano che l'introduzione della banda ultra larga genera un incremento del PIL pro capite compreso tra il 2,7% e il 3,9%, a seconda delle specifiche del modello econometrico utilizzato.

In tale contesto, si pone un altro studio condotto da Rohman e Bohlin (2012), essi hanno ricercato l'impatto causale tra la diffusione delle connessioni di rete a banda larga e la crescita economica di un paese.

Per tale analisi sono stati utilizzati dati provenienti dai paesi OCSE nel periodo compreso tra il 2008 e il 2010. Analogamente allo studio precedentemente analizzato, anche esso si avvale del metodo a variabili strumentali per superare i problemi di endogeneità, in particolare è stata presa come variabile strumentale la velocità della connessione Internet.

¹² Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico

I ricercatori hanno identificato una correlazione positiva tra il PIL pro capite e la velocità di connessione a Internet. In particolare, i risultati delle analisi econometriche indicano che, un raddoppio della velocità di connessione da 8,3 Mbps a 16,6 Mbps genera un incremento del PIL pro capite di circa lo 0,3%.

In sintesi, i numerosi studi presenti in letteratura concordano nel ritenere che gli investimenti in infrastrutture a banda larga abbiano un impatto positivo sulla crescita economica di un paese. Tuttavia, l'entità di tale effetto varia tra i diversi paesi, influenzata da fattori come il livello di sviluppo economico, la qualità delle istituzioni e il grado di diffusione delle tecnologie digitali.

Tabella 4: Impatti sulla crescita economica

| | <i>Dati</i> | <i>Metodologia</i> | <i>Risultati principali</i> |
|---|--------------------------|--|--|
| Effetti sulla crescita economica | | | |
| <i>Czernich et al. (2011)</i> | 25 paesi OCSE, 1996-2007 | Variabili strumentali | L'introduzione dell'UBB genera un incremento del PIL pro capite compreso tra 2,7% e 3,9% |
| <i>Rohman e Bohlin (2012)</i> | 33 paesi OCSE, 2008-2010 | Regressione two stages least square e IV | Un raddoppio di connessione da 8,3 Mbps a 16,6 Mbps genera un incremento del PIL pro capite dello 0,3% |

2.1.2 Implicazioni sul mercato del lavoro e sulla disoccupazione

Oltre agli studi sulla crescita economica, la letteratura scientifica presenta un'ampia gamma di analisi riguardanti la disoccupazione e le dinamiche del mercato del lavoro (Tabella 5).

Tra questi rientra lo studio di Akerman et al. (2015), in esso si esamina l'impatto dell'adozione della banda larga sul mercato del lavoro in termini di occupazione e salario.

Tale studio è stato condotto utilizzando dati delle imprese norvegesi nell'arco temporale compreso tra il 2001 e il 2007, considerando le connessioni con una velocità superiore a 256Kbps.

Le peculiarità di tale indagine economica si fondano su due aspetti principali. In primo luogo, la diffusione della connessione Internet in Norvegia è stata il risultato di ingenti investimenti pubblici, ovvero lo Stato ha finanziato massivamente le infrastrutture, evitando distorsioni legate a variabili non osservabili. Il governo ha inizialmente implementato le infrastrutture nei comuni a elevata densità abitativa, per poi estenderle alle aree rurali, rendendo così la diffusione di Internet una variabile esogena nel contesto di studio.

In secondo luogo, la ricerca distingue tra lavoratori *skilled* e *unskilled* utilizzando come criterio discriminatorio il livello di istruzione. Vengono considerati *skilled* i lavoratori in possesso di un titolo universitario, mentre gli *unskilled* sono coloro privi di tale titolo. Inoltre, in alcune parti dello studio, la categoria degli *unskilled* viene ulteriormente suddivisa tra i *low-skilled*, ovvero individui che non hanno completato la scuola superiore, e i *medium-skilled*, ossia coloro che hanno terminato la scuola superiore ma non possiedono un titolo universitario.

La metodologia implementata nello studio si basa su un'analisi di tipo intention-to-treat¹³, in cui la stima delle funzioni di produzione è stata condotta utilizzando il metodo dei minimi quadrati ordinari e la regressione a variabili strumentali con effetti fissi.

I principali risultati emersi dallo studio indicano che l'introduzione di Internet ha prodotto effetti disomogenei tra lavoratori *skilled* e *unskilled*. Nello specifico, per i lavoratori *skilled* si è osservato un aumento sia dei salari sia del tasso di occupazione, mentre per i lavoratori *unskilled*, l'adozione di tale tecnologia ha determinato una riduzione dei salari, senza alcuna variazione significativa nel tasso di occupazione.

Gli effetti osservati forniscono evidenza dello *skill bias*, fenomeno secondo il quale le innovazioni tecnologiche tendono a generare benefici distribuiti in modo non uniforme tra i lavoratori, con una discriminazione legata alle competenze possedute. In particolare, i lavoratori con competenze elevate traggono significativi vantaggi in termini di salari e di

¹³ Approccio utilizzato negli studi sperimentali per valutare l'effetto di un intervento. In particolare, esso considera tutti gli oggetti assegnati al gruppo di trattamento, indipendentemente dal fatto che abbiano effettivamente ricevuto il trattamento

occupazione, mentre coloro che possiedono competenze meno avanzate subiscono penalizzazioni, quale ad esempio la riduzione dei salari.

Dal punto di vista della policy, questi risultati sollevano significative preoccupazioni, in quanto indicano un possibile corto circuito negli investimenti pubblici. In particolare, sebbene ingenti investimenti nelle infrastrutture abbiano migliorato l'efficacia e l'efficienza delle connessioni Internet, i benefici di questa tecnologia sembrano essere principalmente sbilanciati a favore dei lavoratori già avvantaggiati prima dell'introduzione. Questo risultato contrasta con gli obiettivi di equità che dovrebbero guidare gli investimenti pubblici. Di conseguenza, è necessaria l'implementazione di ulteriori interventi pubblici mirati a garantire una redistribuzione più equa dei benefici derivanti dalle innovazioni tecnologiche.

Un ulteriore studio rilevante in questo contesto è stato condotto dalla ricercatrice Czerich (2014). In tale lavoro, si esamina la possibile correlazione tra la disponibilità di connessioni Internet a banda larga e le disomogeneità nei tassi di disoccupazione. L'analisi si focalizza sui comuni tedeschi, in relazione al fatto che nel 2009 il governo tedesco ha implementato un piano strategico per l'espansione della banda larga, con obiettivi mirati a garantire una copertura totale entro il 2010 e una velocità minima di 50 Mbps per il 75% delle famiglie entro il 2014.

Le stime ottenute tramite il metodo di minimi quadrati ordinari indicano una relazione negativa tra la disponibilità di connessioni DSL e i tassi di disoccupazione. Tuttavia, tali risultati non forniscono evidenze di causalità, poiché potrebbero essere affetti da bias derivante dall'omissione di variabili rilevanti o da potenziali fenomeni di causalità inversa. Dall'analisi mediante l'approccio delle variabili strumentali, emerge che l'infrastruttura a banda larga non ha un effetto diretto negativo sui tassi di disoccupazione. Ciò non implica necessariamente che tale tecnologia sia priva di impatti sul mercato del lavoro; infatti, essa potrebbe migliorare l'efficienza del matching tra domanda e offerta di lavoro.

Indagine analoga è stata realizzata in Italia dai professori Cambini, Abrardi e Sabatino del Politecnico di Torino (2023). L'obiettivo principale di questa ricerca è valutare l'impatto delle tecnologie a banda ultra larga sull'occupazione e sui redditi da lavoro. In particolare, si è cercato di determinare se, e in che modo, l'accesso a connessioni Internet ad alta velocità influenzasse il reddito complessivo da lavoro, distinguendo tra reddito da lavoro dipendente e reddito da lavoro autonomo. Inoltre, lo studio ha esplorato le variazioni di

tali effetti in relazione alle caratteristiche socio-economiche e geografiche dei diversi comuni italiani.

La ricerca sfrutta i dati derivati dai comuni italiani dal 2012 al 2019 che ricoprono il periodo della diffusione della UBB.

Data la complessità nel valutare l'impatto economico a causa della presenza di variabili economiche non osservabili che possono influenzare la diffusione della tecnologia, è stato adottato un approccio alternativo basato sullo stimatore di Freyaldenhoven, Hansen e Shapiro. In questo metodo, le pensioni locali sono state utilizzate come variabile strumentale per identificare la relazione causale tra l'adozione della banda ultra larga e il reddito da lavoro autonomo. Tale approccio sfrutta il differimento temporale delle pensioni come proxy per controllare le variazioni non osservabili, le quali potrebbero potenzialmente avere un impatto significativo sul reddito locale.

I risultati di questo studio mostrano che l'adozione della banda ultra larga ha un effetto trascurabile sul reddito totale da lavoro. Le stime, infatti, rivelano che, dopo aver corretto i problemi di endogeneità tramite l'approccio FHS, l'impatto dell'UBB sul reddito complessivo risulta prossimo allo zero e statisticamente non significativo.

Tuttavia, differenziando tra reddito da lavoro dipendente e da lavoro autonomo, emerge che i lavoratori autonomi traggono vantaggio dall'accesso all'UBB. In particolare, si registra un incremento dell'1,3% nel reddito da lavoro, dovuto principalmente all'aumento del numero di lavoratori autonomi, piuttosto che alla crescita del reddito pro capite. Questo effetto risulta maggiormente pronunciato nelle aree urbane e nei comuni caratterizzati da alta densità di popolazione e alti livelli di istruzione.

L'ultimo studio esaminato in questo contesto è stato condotto da Forman et al. (2012), essi hanno analizzato l'impatto degli investimenti in tecnologie IT, basate su Internet, a livello aziendale sull'occupazione e sui salari locali. Questi investimenti, inizialmente destinati alla transizione di servizi da offline a online, si sono focalizzati principalmente su soluzioni di *e-commerce* e *cloud storage*.

L'obiettivo dello studio è indagare in che modo gli investimenti in tecnologie Internet avanzate influenzino la crescita salariale a livello di contea e se tali investimenti riducano o, al contrario, aggravino le disuguaglianze salariali tra regioni. In particolare, gli autori si propongono di comprendere se l'adozione di tecnologie Internet avanzate favorisca lo sviluppo economico nelle aree più isolate o in quelle già economicamente privilegiate.

Per tale studio sono stati raccolti dati aziendali relativi a diversi stabilimenti ubicati in varie contee degli Stati Uniti con riferimento al periodo 1995-2000. Il campione esaminato comprende circa 86.000 imprese, i cui dati sono stati integrati con informazioni relative ai salari settimanali medi e all'occupazione, fornite dal Bureau of Labor Statistics.

La metodologia impiegata prevede l'uso di una regressione lineare per analizzare la relazione tra la crescita salariale e l'investimento in tecnologie Internet avanzate, tenendo conto di variabili di controllo quali popolazione, reddito e livello di istruzione. Per minimizzare eventuali bias causali, è stato utilizzato l'approccio a variabili strumentali basato sui costi delle telecomunicazioni a livello locale e la disponibilità di programmatori stanziati in altre sedi della medesima azienda.

I risultati dello studio mostrano che solo il 6% delle contee, rappresentanti il 42% della popolazione, hanno tratto significativi benefici dagli investimenti, con una crescita salariale media del 28%, rispetto alla crescita media del 20%. Tuttavia, l'adozione di tale tecnologia ha contribuito ad accentuare le disuguaglianze regionali infatti, le contee già benestanti hanno ottenuto maggiori vantaggi, mentre le aree più isolate o economicamente svantaggiate non hanno registrato incrementi salariali significativi.

Pertanto l'analisi evidenzia un effetto causale tra gli investimenti in Internet avanzato e la crescita salariale, sebbene questo effetto sia circoscritto a regioni caratterizzate da una popolazione numerosa e da un'elevata intensità di utilizzo delle tecnologie IT. Tali risultati sono in contrasto con le politiche che promuovono l'adozione di tecnologie Internet nelle aree non urbane, sollevando importanti questioni di policy. In particolare, si accentua il divario tra le regioni più prospere e quelle economicamente svantaggiate, contribuendo a una maggiore disuguaglianza sociale ed economica.

In conclusione, è possibile affermare che l'adozione delle tecnologie digitali, in particolare della banda larga e delle soluzioni Internet avanzate, presenta impatti complessi e spesso disomogenei sul mercato del lavoro e sui salari. Inoltre, sebbene queste tecnologie possano favorire la crescita economica e salariale nelle aree più sviluppate e tra i lavoratori più qualificati, esse tendono anche ad accentuare le disuguaglianze regionali e sociali, lasciando indietro le aree più svantaggiate e i lavoratori con competenze meno avanzate.

Tabella 5: Effetti su mercato del lavoro e sulla disoccupazione

| | Dati | Metodologia | Risultati principali |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| Effetti sul mercato del lavoro e disoccupazione | | | |
| <i>Akerman et al. (2015)</i> | Imprese Norvegia, 2001-2007 | ITT, stima OLS e regressioni IV | L'adozione della BB aumenta occupazione e salario per i lavoratori skilled. Per gli unskilled l'occupazione rimane invariata e si riduce il salario |
| <i>Czernich (2014)</i> | Comuni tedeschi, 2002-2006 | Stima OLS e regressione IV | Il modello OLS evidenzia una relazione negativa tra disponibilità DSL e disoccupazione, l'IV non mostra alcun effetto significativo sul tasso di disoccupazione |
| <i>Cambni, Abrardi e Sabatino (2023)</i> | Comuni italiani, 2012-2019 | Stimatore FHS | Incremento del reddito dei lavoratori autonomi dell'1,3% a seguito dell'introduzione dell'UBB, effetto maggiore nelle aree urbane e nei comuni ad alta densità abitativa |
| <i>Forman et al. (2012)</i> | Contee degli Stati Uniti, 1995-2000 | Regressione lineare e IV | Incremento dei salari del 28% solo per il 6% delle contee, inoltre la diffusione delle IT ha accentuato le disuguaglianze a livello di contea |

2.1.3 Impatto sulle imprese

L'avvento delle connessioni Internet ha trasformato radicalmente la dinamica dei mercati, diversi studi hanno esaminato l'impatto sui processi di entrata, uscita e creazione delle imprese (Tabella 6).

Lo studio di Cambini e Sabatino (2023) analizza empiricamente l'impatto dell'infrastruttura UBB sul turnover delle imprese, ossia le dinamiche di entrata o uscita dal mercato. In generale, l'obiettivo è comprendere se le connessioni in fibra ottica favoriscano o meno la creazione e la distribuzione delle imprese.

Cruciale è il meccanismo di *turn over* delle imprese, poiché in mercati competitivi determina l'ingresso di imprese produttive e l'uscita di quelle meno produttive. Questo processo contribuisce a definire una frontiera efficiente che le imprese devono raggiungere per mantenere la loro competitività all'interno del mercato. La frontiera è caratterizzata da una dinamica evolutiva, in quanto essa si sposta in funzione dei progressi tecnologici. Questo fenomeno sottolinea l'importanza di monitorare continuamente le innovazioni tecniche e il loro impatto sulle imprese.

I dati esaminati comprendono informazioni dettagliate a livello comunale sulla diffusione dell'UBB e sul turnover delle imprese in 14 settori industriali. Il dataset include informazioni sulla percentuale di famiglie con accesso a connessioni ADSL o UBB, la presenza di terminali ottici (OLT)¹⁴, la distanza dai nodi nazionali della rete *backbone*¹⁵, e le dinamiche di entrata e uscita delle imprese. Queste informazioni sono integrate con dati demografici e di densità di popolazione ottenuti dai censimenti nazionali.

Per mitigare i problemi di endogeneità, è stato implementato il metodo IV, utilizzando come variabile la vicinanza di ciascun comune rispetto al nodo OPB¹⁶.

¹⁴ Dispositivi utilizzati per collegare la fibra ottica e trasferire segnali

¹⁵ Backbone network, in italiano reti dorsali, sono infrastrutture di telecomunicazione progettate per garantire elevate capacità di trasporto dati su ampie distanze, caratterizzate da un throughput elevato e una latenza ridotta. Per garantire tali prestazioni l'infrastruttura è principalmente implementata utilizzando cavi in fibra ottica, che offrono una larghezza di banda superiore e una minore attenuazione del segnale rispetto ad altre tecnologie. Le backbone network sono generalmente impiegate per connettere nodi situati a distanze considerevoli, permettendo uno scambio di dati efficiente e affidabile anche su tratte estese

¹⁶ Optical Packet Backbone

I principali risultati emersi evidenziano che l'introduzione dell'UBB non ha alcun effetto significativo sull'ingresso delle imprese in generale. Tuttavia, tale effetto risulta positivo solo nei settori ad alta intensità digitale e nelle aree geografiche più sviluppate.

Lo studio rivela una chiara eterogeneità settoriale infatti, l'UBB ha effetti positivi sull'entrata delle imprese nei settori delle telecomunicazioni, dell'intermediazione finanziaria e immobiliare, delle attività professionali e del turismo, mentre ha impatto negativo nei settori del commercio e dell'ospitalità.

In relazione all'uscita di impresa, si osserva che l'adozione dell'UBB genera un aumento significativo, specialmente per le piccole imprese. L'effetto è particolarmente marcato nei settori a bassa intensità digitale, con un incremento stimato delle uscite compreso tra l'1,9% e il 2,8% per ogni anno aggiuntivo di utilizzo della UBB. Tale fenomeno è strettamente relazionato al problema della frammentazione d'impresa che contraddistingue il sistema imprenditoriale italiano, in cui la dimensione media delle imprese è notevolmente inferiore rispetto alla media europea. Questa frammentazione limita la capacità delle imprese di realizzare economie di scala, adottare nuove tecnologie e migliorare le competenze manageriali.

L'impatto delle connessioni a banda ultra-larga (UBB) sulle dinamiche imprenditoriali è stato oggetto di studio da parte di Martin Falk ed Eva Hagsten (2021). L'obiettivo della ricerca è quello di analizzare la relazione tra la diffusione delle connessioni ad alta velocità e le dinamiche di sviluppo delle imprese a livello comunale. Lo studio è stato condotto su un campione di 290 comuni svedesi, analizzando dati riferiti al periodo compreso tra il 2010 e il 2018, con particolare attenzione alle dinamiche territoriali di crescita delle micro, piccole e medie imprese.

Attraverso l'utilizzo di un modello OLS a effetti fissi, si evidenzia un impatto positivo significativo, seppur limitato, principalmente sulle micro imprese. Per ogni incremento dell'1% nella diffusione della banda ultra larga, si registra un aumento dello 0,055% del numero di micro e piccole imprese, tale effetto è analizzato in ritardato di un anno per tener conto del periodo di risposta e adattamento necessario a riflettere pienamente l'effetto dell'infrastruttura sulle dinamiche imprenditoriali.

Similmente, l'adozione di un modello spaziale-temporale di tipo Spatial Durbin (SDM)¹⁷ conferma risultati analoghi, rilevando una relazione positiva e significativa tra il numero di micro imprese e l'accesso alla UBB. Tuttavia, il livello di significatività di questo modello risulta essere inferiore rispetto al modello OLS, con un valore del 5% rispetto all'1%.

Il modello SDM consente inoltre di identificare effetti indiretti, evidenziando la presenza di spillover significativi dell'accesso alla banda larga nei comuni limitrofi. In particolare, il coefficiente per le micro imprese risulta pari a 0,043, leggermente superiore rispetto all'effetto diretto, suggerendo che l'accesso alla banda larga in un comune eserciti un impatto positivo anche sui comuni adiacenti.

Infine, gli autori sottolineano che l'accesso alla banda larga ad alta velocità debba essere accompagnato da adeguate competenze in modo da stimolare un effettivo dinamismo nel settore imprenditoriale. I risultati, infatti, sono maggiormente significativi nelle imprese caratterizzate da un'alta presenza di personale laureato o con competenze digitali avanzate.

In conclusione, dall'analisi della letteratura, si evince che l'impatto dell'adozione della banda ultra-larga sulle dinamiche imprenditoriali favorisce lo sviluppo delle imprese, soprattutto nei settori ad alta intensità digitale e nelle aree più sviluppate. Tuttavia presenta effetti contrastanti in settori differenti e per le piccole imprese. Questi risultati sottolineano l'importanza di accompagnare gli investimenti tecnologici con politiche di sviluppo delle competenze e di supporto specifico per garantire che l'innovazione sia inclusiva e contribuisca a una crescita economica omogenea.

¹⁷ Modello econometrico che permette di analizzare le dinamiche spaziali e le possibili interazioni tra diverse aree geografiche. Sono presi in considerazione sia gli effetti diretti dell'accesso alla banda larga ad alta velocità all'interno di un comune, sia gli effetti indiretti dovuti all'accesso alla banda larga nei comuni vicini, ossia gli effetti di spillover

Tabella 6: Impatto sulle imprese

| | Dati | Metodologia | Risultati principali |
|----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| Impatto sulle imprese | | | |
| <i>Cambini e Sabatino (2023)</i> | Comuni italiani, 2012-2019 | Variabili strumentali | L'introduzione dell'UBB aumenta l'uscita d'impresa soprattutto per quelle piccole. L'effetto sull'entrata è positivo solo nei settori ad alta intensità digitale. |
| <i>Falk e Hagsten (2021)</i> | 290 comuni svedesi, 2010-2018 | Stima OLS a effetti fissi e modello Spatial-Durbin | L'accesso a connessioni ad alta velocità ha un effetto positivo, ma relativamente piccolo sulle dinamiche degli insediamenti, influenzato principalmente dalle micro imprese (1-9 dipendenti) |

2.1.4 Effetti sul tasso di ricerca del lavoro e sull'efficienza del matching nel mercato occupazionale

L'adozione diffusa delle tecnologie digitali nel mercato del lavoro ha introdotto strumenti e modalità innovative che hanno influenzato il modo in cui lavoratori e datori di lavoro si incontrano. Il tasso di ricerca del lavoro e l'efficienza del matching sono diventati temi centrali nell'analisi economica, con diversi studi che esplorano l'impatto delle piattaforme digitali nel migliorare o modificare questi processi (Tabella 7).

Tra i contributi più rilevanti in questo ambito si distingue lo studio di Gürtzgen et al. (2021), gli autori si sono focalizzati sull'impatto dell'espansione della rete Internet a banda larga in Germania e sui tassi di reinserimento lavorativo dei disoccupati, con particolare attenzione al genere maschile. Lo scopo principale dello studio è determinare se le tecnologie digitali, in particolare l'accesso a Internet ad alta velocità (DSL), influenzino positivamente le probabilità di reinserimento lavorativo dei disoccupati in

Germania. L'analisi si focalizza sull'esaminare se la disponibilità di Internet contribuisce a ridurre le frizioni informative nel mercato del lavoro, agevolando il processo di matching tra disoccupati e datori di lavoro.

Sono stati utilizzati dati a livello municipale sulla disponibilità di DSL e dati amministrativi dettagliati sugli individui disoccupati, estratti dal registro dell'Agenzia Federale per l'Impiego. Inoltre, è stato esaminato un campione di dati dall'indagine PASS¹⁸ per valutare il comportamento di ricerca di lavoro online.

La metodologia adottata prevede un approccio di intenzione al trattamento (ITT), sfruttando la variazione esogena nella disponibilità di DSL derivante dalle caratteristiche tecnologiche del sistema telefonico tedesco degli anni sessanta. L'approccio a variabili strumentali è utilizzato per affrontare i problemi di endogeneità, la distanza di un comune dal Main Distribution Frame, MDF, è lo strumento che cattura la disponibilità di DSL.

I risultati mostrano un incremento significativo delle probabilità di reinserimento lavorativo per gli uomini, con un effetto particolarmente marcato dopo i primi mesi di disoccupazione. Inoltre, l'espansione di Internet ha indotto a un maggiore utilizzo della ricerca di lavoro online, soprattutto tra gli uomini, senza indicare un effetto sostitutivo rispetto ai canali offline. Gli uomini hanno aumentato il numero di candidature spontanee, riflettendo un incremento nell'intensità della ricerca, tale andamento, tuttavia, non è correlato all'aumento dell'offerta di posti di lavoro derivante dall'introduzione di nuove tecnologie. Infine, non sono emersi effetti significativi sulla domanda di lavoro, ciò suggerisce che il miglioramento delle probabilità di reinserimento sia principalmente attribuibile a una riduzione delle frizioni informative.

Analisi analoga è stata condotta da Bhuller et al. (2020), il cui obiettivo principale è valutare l'impatto della disponibilità di Internet a banda larga sui risultati occupazionali, con particolare attenzione alla durata della disoccupazione, ai tassi di disoccupazione e al successo nella ricerca di lavoro. Gli autori mirano a comprendere in che modo l'espansione dell'accesso a Internet possa influenzare l'efficienza complessiva del mercato del lavoro.

¹⁸ Indagine condotta in Germania nel 2006-2007, progettata per raccogliere dati dettagliati sulle famiglie a basso reddito, sui disoccupati e sulle persone che ricevono prestazioni di sicurezza sociale. L'indagine ha l'obiettivo di esaminare il comportamento lavorativo, le transizioni nel mercato del lavoro e l'uso delle prestazioni di sicurezza sociale

I dati utilizzati nello studio derivano da una combinazione di fonti amministrative, tra cui registri di impiegati e datori di lavoro e registri di disoccupazione, e sondaggi, entrambi relativi a individui di età compresa tra i 25 e i 55 anni residenti in Norvegia. I ricercatori applicano il metodo del GMM, Generalized Method of Moments,¹⁹ per stimare la relazione tra l'accesso a Internet e variabili chiave del mercato del lavoro, tenendo conto di una serie di fattori fissi, quali caratteristiche comunali e temporali.

I risultati indicano che l'aumento della disponibilità di banda larga riduce in modo significativo il tempo necessario per coprire le posizioni vacanti, con una riduzione media di 1,4 giorni, pari al 9%. Inoltre, si rileva un calo del 13% nei problemi legati al reclutamento. Altro risultato rilevante è l'incremento della probabilità di reimpiego di 4 punti percentuali, equivalente a un aumento del 6% rispetto alla media, dovuto alla possibilità di usufruire di Internet. Infine, si osserva una significativa riduzione del rischio di tornare alla disoccupazione dopo aver trovato un impiego.

Questi risultati suggeriscono che l'espansione dell'accesso a Internet a banda larga migliora l'efficienza del mercato del lavoro, facilitando la corrispondenza tra domanda e offerta di lavoro.

L'ultimo studio analizzato, condotto da Denzer et al. (2020), si focalizza sull'impatto della disponibilità domestica di Internet sul tasso di successo nella ricerca di lavoro in Germania, durante il periodo di espansione della connettività a banda larga, compreso tra il 2006 e il 2009, in cui l'uso di Internet nelle abitazioni è aumentato di circa 31 punti percentuali.

I dati utilizzati nello studio provengono dall'indagine PASS²⁰. Tali dati includono variabili quali l'accesso a Internet domestico, i metodi di ricerca di lavoro utilizzati e gli esiti occupazionali.

Gli autori implementano la metodologia OLS, tenendo conto delle variazioni nelle caratteristiche individuali e territoriali. Contestualmente per affrontare il potenziale problema di endogeneità, gli autori utilizzano un modello a variabili strumentali, adottando come strumento la disponibilità della tecnologia DSL a livello comunale.

¹⁹ Tecnica econometrica impiegata per l'analisi e la stima dei parametri di un modello economico si basa sulle condizioni imposte dai momenti, quali media, varianza e covarianza, di una distribuzione statistica. Questo approccio risulta particolarmente vantaggioso quando il modello economico non rispetta le ipotesi distributive convenzionali, spesso richieste dai metodi di regressione più tradizionali, come l'Ordinary Least Squares (OLS)

²⁰ Indagine condotta dall'Istituto per la Ricerca sull'Occupazione

I risultati delle stime OLS evidenziano che la disponibilità dell'accesso domestico a un computer con connessione Internet aumenta il tasso di successo nella ricerca di lavoro di circa il 6%. Le stime IV suggeriscono un effetto potenzialmente maggiore, sebbene meno preciso. Inoltre, lo studio dimostra che l'adozione di tecnologie innovative ha determinato un incremento significativo dell'uso di fonti online per la ricerca di lavoro, a scapito di metodi tradizionali. Infine, si evidenzia che coloro che dispongono di accesso a Internet, hanno potenziato l'intensità complessiva dell'attività di ricerca.

In conclusione, la rassegna dei vari studi evidenzia come l'espansione delle tecnologie digitali abbia avuto effetti significativi sul mercato occupazionale. I risultati suggeriscono che la disponibilità di Internet ha contribuito a ridurre le frizioni informative, migliorando la capacità di matching tra disoccupati e datori di lavoro. Queste sono chiare evidenze del contributo positivo derivante dalle connessioni a banda larga, confermando il ruolo cruciale delle tecnologie digitali nel facilitare l'incontro tra domanda e offerta di lavoro.

Tabella 7: Effetto sul tasso di ricerca del lavoro e l'efficienza del matching

| | <i>Dati</i> | <i>Metodologia</i> | <i>Risultati principali</i> |
|---|--|----------------------------|--|
| <i>Effetto sul tasso di ricerca del lavoro e l'efficienza del matching</i> | | | |
| <i>Gürtzgen et al. (2021)</i> | Comuni Germania, pre DSL 1998-1999 DSL 2007-2008 | Variabili strumentali | Incremento della probabilità di reinserimento per gli uomini |
| <i>Bhuller et al. (2020)</i> | Fonti amministrative e sondaggi per individui di 25-55 anni in Norvegia, 2000-2014 | GMM | Riduzione dei posti vacanti del 9% e dei problemi durante reclutamento del 13%. Incremento di 4 punti percentuali della probabilità di rimpiego |
| <i>Denzer et al. (2020)</i> | Famiglie Germania e sondaggio PASS, 2006-2009 | Stima OLS e regressione IV | Aumento del tasso di successo nella ricerca di lavoro del 6%. Incremento dell'utilizzo di metodi per la ricerca di lavoro online |

2.3 Effetti distorsivi derivanti dall'utilizzo di internet

Oltre alle numerose esternalità generate dalla diffusione di Internet a livello economico, si manifestano una serie di effetti distorsivi che, pur non essendo direttamente riconducibili all'economia e al mercato del lavoro, possono comunque esercitare un impatto indiretto su di essi (Tabella 8).

Il primo studio esaminato relativo a McDool et al. (2020), si propone di analizzare l'influenza dell'uso di Internet, misurato tramite la velocità della connessione a banda larga, sul benessere psicologico dei bambini. L'indagine si concentra sulla percezione da parte di quest'ultimi di diversi fattori quali l'aspetto fisico, il rendimento scolastico e le relazioni interpersonali, con particolare attenzione alle differenze di genere e alle potenziali cause degli effetti negativi osservati.

Il campione utilizzato nello studio analizza dati rappresentativi di oltre 6.300 bambini residenti in Inghilterra, raccolti nel periodo 2012-2017. La velocità della banda larga nei quartieri è stata impiegata come proxy per l'utilizzo di Internet.

Lo studio ha adottato modelli ad effetti fissi per controllare i fattori non osservabili, quali le caratteristiche individuali dei bambini e dei quartieri, al fine di isolare i potenziali effetti causali. Sono stati inoltre esplorati specifici meccanismi, come l'ipotesi del crowding out, secondo cui il tempo trascorso su Internet sostituisce attività potenzialmente benefiche.

I risultati indicano un'associazione tra l'uso di Internet e deterioramento del benessere psicologico in diversi ambiti. L'effetto più pronunciato è stato rilevato sulla percezione dell'aspetto fisico, con particolare rilevanza tra le ragazze. Inoltre, i dati supportano l'ipotesi che l'uso di Internet riduca il tempo dedicato ad attività benefiche, come lo sport o le interazioni sociali dirette, con conseguenze negative sul benessere psicologico. Infine, l'uso dei social media ha mostrato un impatto negativo significativo, aggravando problematiche legate all'autostima e alla percezione dell'immagine corporea, soprattutto tra le ragazze.

Un ulteriore aspetto di rilievo riguarda le performance scolastiche, analizzate in uno studio condotto da Belo et al. (2014). Gli autori si concentrano sull'impatto relativo all'accesso e all'utilizzo di Internet sui risultati accademici degli studenti delle scuole medie in Portogallo, con particolare riferimento agli esami nazionali del nono anno in matematica e lingua portoghese. Inoltre, sono stati utilizzati dati relativi all'accesso a

Internet tramite connessioni ADSL, monitorati su base mensile per ciascuna scuola nel periodo 2005-2009.

Lo studio ha impiegato un modello difference-in-differences per controllare l'influenza di effetti non osservabili specifici di ciascuna scuola. Per affrontare il problema dell'endogeneità, ovvero la possibilità che l'utilizzo di Internet sia influenzato da fattori non osservabili che a loro volta incidono sulle performance scolastiche, gli autori hanno impiegato il metodo a variabili strumentali, mediante la distanza tra le scuole e le centrali telefoniche.

I risultati indicano che gli studenti delle scuole caratterizzate da un maggiore utilizzo di Internet hanno registrato una diminuzione significativa nei voti degli esami nazionali. Tale effetto negativo è stato riscontrato indipendentemente dal genere degli studenti, dalla materia e dalla qualità della scuola. Tuttavia, l'impatto negativo è risultato più pronunciato tra i minori di genere maschile e nelle scuole con un controllo meno rigoroso sull'utilizzo di Internet.

L'ultimo aspetto analizzato riguarda la partecipazione politica, esaminata in modo approfondito per l'Italia da Campante et al. (2013). L'obiettivo principale dello studio è valutare l'effetto causale della diffusione di Internet a banda larga sull'attivismo politico, prestando particolare attenzione alle variazioni temporali e alle diverse forme di coinvolgimento politico. Lo studio mira a comprendere il motivo per cui, in una fase iniziale la banda larga abbia avuto un impatto negativo sull'affluenza elettorale, pur stimolando contemporaneamente altre forme di partecipazione, sia online che offline.

Lo studio utilizza una vasta gamma di dati, in primo luogo la Copertura ADSL in Italia fornita dall'Osservatorio Banda Larga, con informazioni sulla disponibilità di banda larga nei comuni italiani dal 2005 al 2011. In secondo luogo, analizza dati elettorali relativi alle elezioni municipali e parlamentari italiane, che includono tassi di affluenza alle urne e i voti suddivisi per partito dal 1996 al 2013. Infine, dati demografici a livello comunale, che includono informazioni sulla popolazione, sulla densità abitativa, sul livello di istruzione e sulla distribuzione per età.

Per affrontare il problema dell'endogeneità nell'accesso alla banda larga, gli autori applicano la metodologia difference-in-differences, utilizzando la distanza dalle centrali telefoniche come variabile strumentale per stimare l'effetto dell'accesso alla banda larga sulla partecipazione politica.

I risultati mostrano un effetto complesso e dinamico della banda larga sulla partecipazione politica. Inizialmente, l'accesso alla banda larga ha ridotto significativamente l'affluenza elettorale nelle prime elezioni parlamentari, con una riduzione di circa 7 punti percentuali. Tuttavia, nonostante il calo nell'affluenza elettorale, la banda larga ha stimolato altre forme di partecipazione, come proteste locali e attivismo politico online.

Infine, nelle elezioni del 2013, l'effetto negativo inizialmente osservato sull'affluenza è stato in gran parte mitigato grazie all'emergere di nuovi attori politici, quale ad esempio il Movimento 5 Stelle.

In conclusione si evince che, l'uso diffuso di Internet, pur avendo generato benefici in molteplici settori, ha anche prodotto effetti distorsivi significativi, con ripercussioni sul benessere psicologico dei più giovani, sulle performance scolastiche e sui modelli di partecipazione politica. Questi effetti negativi evidenziano la necessità di un approccio equilibrato e consapevole nell'utilizzo delle tecnologie digitali, per mitigare le distorsioni e sfruttare appieno le potenzialità del progresso tecnologico.

Tabella 8: Effetti distorsivi derivanti dall'utilizzo di Internet

| | Dati | Metodologia | Risultati principali |
|--|---|-------------------------|--|
| <i>Effetti distorsivi derivanti dall'utilizzo di internet</i> | | | |
| <i>McDool et al. (2020)</i> | Oltre 6.300 bambini residenti in Inghilterra, 2012-2017 | Modello a effetti fissi | Peggioramento del benessere psicologico. Crea problematiche relative all'autostima e alla percezione del proprio aspetto |
| <i>Belo et al. (2014)</i> | Connessioni ADSL per scuola in Portogallo e risultati scolastici, 2005-2009 | Diff-in- <u>Diff</u> | Calo dei rendimenti scolastici indipendente dal genere dalla materia e dalla scuola |
| <i>Campante et al. (2013).</i> | Copertura ADSL, dati elettorali Italia 1996-2013 | Diff-in-Diff | Affluenza alle urne ridotta del 7%. Crescita della partecipazione in altre forme |

Capitolo 3: Analisi del Dataset

In questo capitolo sarà fornita una descrizione dettagliata del dataset successivamente utilizzato per l'analisi econometrica e saranno analizzate le informazioni principali che emergono da essi. Il dataset rappresenta una risorsa fondamentale per comprendere le dinamiche socio-economiche e infrastrutturali dei comuni italiani.

3.1 Descrizione del Dataset

Il dataset utilizzato contiene informazioni relative a 7.765 comuni italiani raccolte nell'arco temporale compreso tra il 2012 e il 2022. Considerando che al 30 giugno 2024 il numero totale di comuni in Italia ammontava a 7.896²¹, si può affermare che il campione sia altamente rappresentativo per condurre un'analisi a livello nazionale.

Le variabili incluse nel dataset, successivamente esaminate, coprono diversi aspetti, dai dati identificativi del comune alle caratteristiche demografiche, infrastrutturali e economiche. Queste informazioni consentono un'analisi approfondita delle relazioni tra la diffusione delle infrastrutture digitali e le dinamiche economiche locali. Sarà inoltre presentata una descrizione approfondita delle variabili più complesse per facilitarne la comprensione e l'interpretazione.

Dati identificativi del comune:

- ISTAT_comune: codice alfanumerico assegnato dall'Istituto Nazionale di Statistica per identificare in modo univoco ciascun comune. Esso è composto da una parte iniziale che rappresenta la provincia e una seconda parte che identifica il comune all'interno della provincia.
- ISTAT_numerico: variante numerica del codice ISTAT, corrisponde alla seconda parte del codice alfanumerico precedente.
- NEW_cod_ISTAT: codice aggiornato o modificato a seguito di variazioni territoriali, quali fusioni o cambiamenti amministrativi dei comuni.

²¹ Fonte: ISTAT

Dati geografici e amministrativi

- Longitudine e latitudine: coordinate geografiche del comune.
- Provincia, regione e macro area: informazioni amministrative che classificano i comuni a livello territoriale.

Variabili demografiche

- Popolazione totale
- Popolazione ripartita tra il sesso maschile e femminile
- Popolazione per fasce d'età: 0-19 anni; 20-64 anni; 65+ anni

Dati geografici e infrastrutturali

Esse forniscono informazioni sull'accesso alle tecnologie digitali nei comuni, con particolare attenzione alle reti a banda larga e ultralarga:

- Aree bianche: variabile binaria che identifica le aree prive di infrastrutture di rete a banda larga, secondo i piani nazionali di sviluppo.
- Coverage_UBB_TIM fino al 2019: variabile di tipo binario che indica se il comune, al 2019, dispone della copertura di rete ultralarga (UBB) fornita da TIM.
- Sede OLT: indica la presenza dell'Optical Line Termination (OLT), il punto di terminazione della rete ottica FTTH.

Dati sulle tecnologie di accesso (FTTC/FTTH)

Le variabili relative alla tecnologia di accesso identificano la disponibilità di diverse forme di connessione a internet a banda larga nei comuni:

- Dummy FTTC_TIM: presenza della tecnologia FTTC (Fiber to the Cabinet) fornita da TIM.
- Dummy FTTH_TIM: presenza della tecnologia FTTH (Fiber to the Home) fornita da TIM.
- Dummy FTTH_OF: presenza della tecnologia FTTH fornita da Open Fiber.
- Dummy FTTH_TOT: presenza totale della tecnologia FTTH, considerando tutti i fornitori (TIM, Open Fiber, ecc.).
- Dummy UBB_TOT: disponibilità comunale delle reti UBB.

Dati temporali e distanze dalle infrastrutture

- post_2015: variabile binaria che indica se la copertura UBB è stata implementata dopo il 2015.
- anni_UBB: numero di anni in cui la rete UBB è stata disponibile in ciascun comune.
- min_distance: distanza minima tra il comune e l'infrastruttura più vicina.
- mindist_opb: distanza dal nodo Optical Backbone.
- mindist_OF_opb: distanza dalla rete Open Fiber e il nodo OPB.
- mindist_old_opb: distanza dal nodo OPB pre-esistente.

Dati economici

Essi coprono una vasta gamma di fonti di reddito, permettendo una comprensione dettagliata della distribuzione della ricchezza e della contribuzione fiscale nei comuni italiani.

- Reddito da lavoro dipendente e assimilati
- Reddito da lavoro autonomo
- Reddito da pensione
- Reddito da fabbricati

Questi dati sono riportati in termini di frequenza, ammontare totale e ammontare pro capite, permettendo una valutazione sia della distribuzione individuale che aggregata dei redditi.

Distribuzione del reddito per fasce

Il dataset suddivide i contribuenti in base a diverse fasce di reddito, consentendo l'analisi della disuguaglianza economica e la distribuzione della ricchezza. Le fasce sono:

- Redditi fino a 10.000 euro
- Redditi da 10.000 a 15.000 euro
- Redditi da 15.000 a 26.000 euro
- Redditi oltre 120.000 euro

Reddito imponibile e contribuzione fiscale

- Reddito imponibile: frequenza e ammontare del reddito imponibile.
- Imposta netta: frequenza e ammontare dell'imposta netta pagata dai contribuenti.

- Addizionali regionale e comunale: frequenza e ammontare delle addizionali fiscali pagate.
- Contribuenti a reddito zero o negativo: contribuenti che non hanno dichiarato alcun reddito o hanno dichiarato redditi complessivi pari o inferiori a zero.

3.2 Esplorazione del dataset

In questa sezione saranno presentate le elaborazioni e le analisi dei dati condotte utilizzando strumenti statistici e software di calcolo, in particolare Microsoft Excel. Lo scopo di queste analisi è quello di comprendere le tendenze demografiche, economiche e infrastrutturali dei comuni italiani nel periodo considerato, evidenziando eventuali pattern ricorrenti o differenze significative tra le aree geografiche, le fasce di reddito e l'accesso alle tecnologie digitali.

Ogni sezione sarà accompagnata da visualizzazioni grafiche, quali istogrammi, grafici a linee, che faciliteranno la comprensione dei risultati e offriranno una visione immediata delle dinamiche sottostanti.

3.2.1 Diffusione della banda larga

In questa suddivisione sono presentate le analisi relative alla diffusione della banda ultra larga a livello comunale, demografico, regionale e macroregionale. L'analisi dei dati riportati nel grafico seguente (Figura 6) evidenzia l'andamento dell'accesso alla banda ultra larga da parte dei comuni italiani nel periodo compreso tra il 2012 e il 2022. In particolare, si osserva un incremento significativo nel numero di comuni dotati di tale tecnologia, che passa da un livello nullo nel 2012 a 5475 comuni nel 2022, rappresentando il 70,5% del totale dei comuni italiani. Questo trend riflette un processo di diffusione della banda ultra larga che, come descritto nei capitoli precedenti, segue il modello della curva a S tipico delle innovazioni tecnologiche, esso presuppone una fase iniziale lenta, caratterizzata da una penetrazione limitata, cui segue un'accelerazione rapida e, infine, una fase di stabilizzazione.

L'introduzione della UBB in Italia, che ha preso avvio in modo significativo a partire dal 2015, ha visto nei primi anni un tasso di crescita contenuto, con una copertura pari al

13,2% dei comuni. Successivamente, tra il 2016 e il 2017, si è registrata un'accelerazione della diffusione, con un incremento particolarmente marcato che ha portato la copertura al 47,4% entro il 2017. Tale incremento è da attribuire alle iniziative governative e agli investimenti infrastrutturali volti a potenziare la connettività su tutto il territorio nazionale, in linea con le strategie europee di digitalizzazione. L'aumento della disponibilità di banda ultra larga riflette, infatti, l'impegno delle istituzioni nel promuovere l'accesso equo alle tecnologie digitali, con l'obiettivo di ridurre il *digital divide* e di migliorare la competitività del sistema economico nazionale.

L'interpretazione dei dati raccolti evidenzia non solo i progressi compiuti nel potenziamento delle infrastrutture digitali nei comuni italiani, ma solleva anche la necessità di una valutazione più approfondita delle possibili disparità regionali e socioeconomiche. Sebbene l'accesso alla UBB rappresenti un elemento chiave per il progresso economico e sociale delle comunità locali, favorendo la diffusione di servizi digitali avanzati, persistono disomogeneità territoriali che potrebbero influenzare l'efficacia di tali politiche. È dunque fondamentale analizzare la distribuzione di questa crescita a livello territoriale e demografico, per comprendere se e come l'estensione delle infrastrutture digitali stia contribuendo alla riduzione delle disuguaglianze tra le diverse aree del Paese.

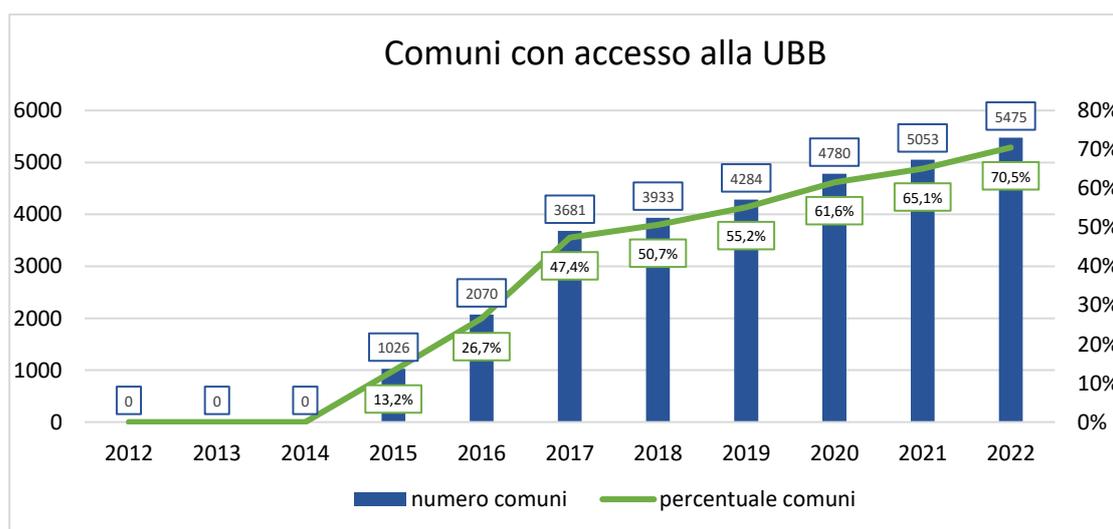


Figura 6: Andamento temporale del numero di comuni con accesso UBB

Oltre all'analisi relativa al numero di comuni serviti dalle nuove tecnologie, risulta essenziale considerare la popolazione residente in ciascun comune, al fine di determinare

il numero di cittadini che hanno beneficiato dell'accesso alla banda ultra larga. La Figura 7 evidenzia un incremento rilevante del numero di persone con accesso a questa tecnologia, che è passato da zero nel 2012 a 54,8 milioni nel 2022, pari al 93% della popolazione totale italiana. Questo dato si basa sulle stime ISTAT, che al 31 dicembre 2022 riportavano una popolazione residente in Italia di 58.978.201 individui. Pertanto, si può affermare che, in termini di popolazione, la penetrazione della UBB ha quasi raggiunto la saturazione.

L'analisi del trend temporale conferma l'andamento osservato in precedenza, ovvero un aumento significativo della copertura della UBB tra il 2015 e il 2017, seguito da un rallentamento nei successivi anni. Tuttavia, è importante notare una differenza significativa rispetto al grafico relativo al numero di comuni coperti (Figura 6). Mentre, tra il 2017 e il 2022, l'incremento percentuale di comuni con accesso alla UBB è rimasto pressoché stabile, con una crescita media di circa 5 punti percentuali all'anno, l'aumento della popolazione raggiunta dalla UBB nello stesso periodo si è attestato a circa 1 punto percentuale all'anno.

Questa discrepanza suggerisce una tendenza degli operatori di telecomunicazioni a privilegiare l'espansione della copertura nelle aree a maggiore densità abitativa, principalmente per ragioni di sostenibilità economica e di massimizzazione del ritorno sugli investimenti. Tale orientamento riflette la scelta strategica di ottimizzare la copertura in termini di numero di utenti serviti, piuttosto che di espandere la connettività su tutto il territorio nazionale in modo uniforme.

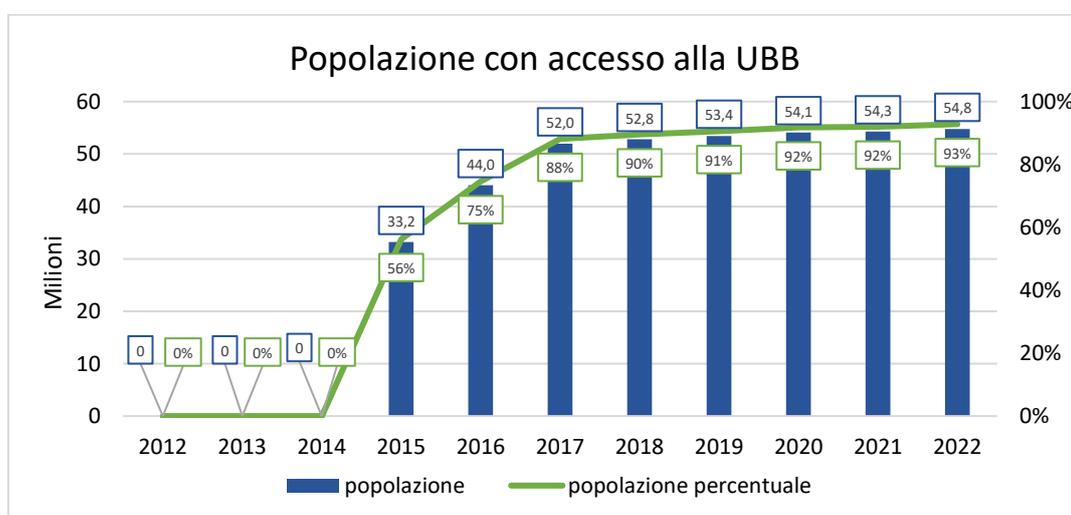


Figura 7: Andamento temporale della copertura UBB a livello demografico

Per approfondire ulteriormente l'analisi della copertura della banda ultra larga, UBB, la Figura 8 riporta in verde i comuni, aggregati a livello regionale, che risultano coperti da tale tecnologia, rapportati al numero totale di comuni presenti in ciascuna regione. Dall'analisi dei dati emerge che, nel 2022, la regione con il maggior numero di comuni coperti dalla banda ultra larga è la Lombardia, con 962 comuni, seguita dal Piemonte e dal Veneto, con rispettivamente 529 e 484 comuni raggiunti. Al contrario, le regioni che registrano il minor numero di comuni coperti risultano essere la Valle d'Aosta, l'Umbria, il Molise e la Basilicata. Tuttavia, occorre considerare il caso della Valle d'Aosta, che presenta una particolare configurazione territoriale con soli 74 comuni, un numero significativamente inferiore rispetto alle altre regioni. Escludendo questo caso specifico, si osserva che le regioni con il minor numero di comuni coperti appartengono prevalentemente al Centro e al Sud Italia. Tale situazione potrebbe inizialmente suggerire una maggiore copertura nelle regioni settentrionali rispetto a quelle centrali e meridionali. Tuttavia, questa ipotesi sarà successivamente smentita da ulteriori analisi che tengono conto del numero di comuni presenti all'interno della regione.

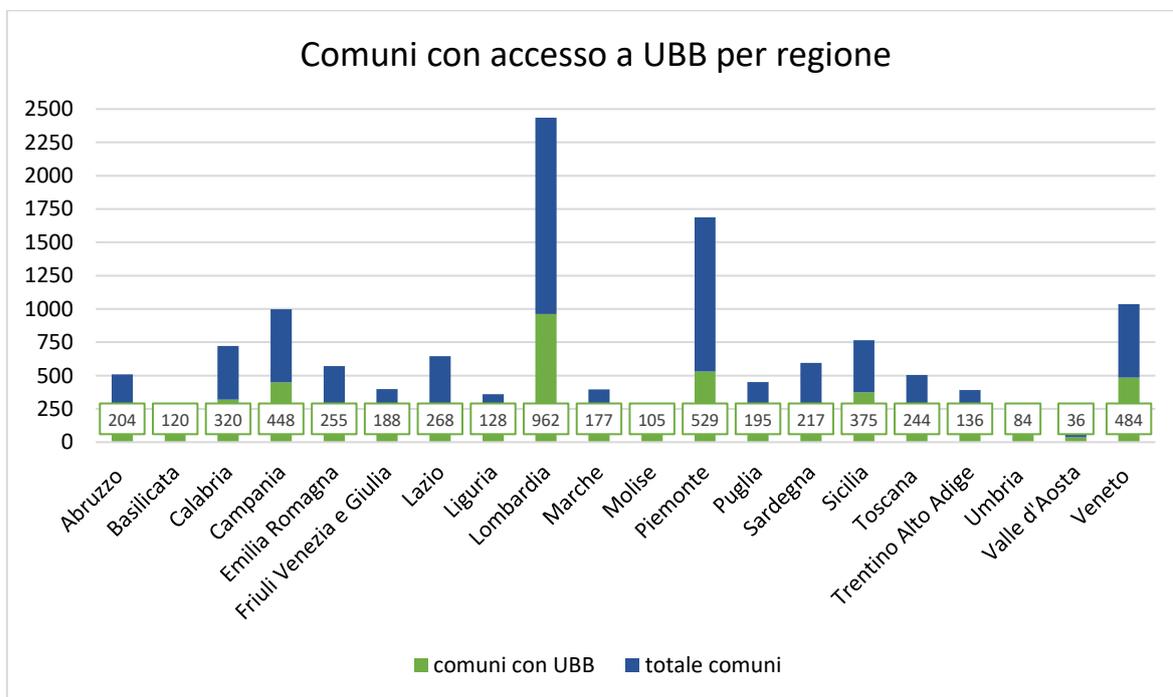


Figura 8: Rapporto tra comuni con accesso UBB e totalità comuni per regione

Per analizzare in maniera più dettagliata la copertura regionale, la Figura 9 sottostante mostra una mappa dell'Italia, essa rappresenta per ciascuna regione la percentuale di

comuni coperti dalla UBB, calcolata come rapporto tra il numero di comuni con accesso alla banda ultra larga e il numero totale di comuni presenti nella regione. Questa rappresentazione visiva rivela un quadro differente rispetto a quanto ipotizzato inizialmente. Si osserva, infatti, un ampio divario tra le regioni del Nord e quelle del Sud, ma, contrariamente alle aspettative, questo divario risulta favorevole alle regioni meridionali e alle isole. Ad esempio, le regioni del Nord come Piemonte, Lombardia e Trentino-Alto Adige presentano percentuali di copertura inferiori al 65%, mentre regioni del Sud come Sicilia, Calabria, Basilicata e Campania mostrano una copertura superiore all'80%. Questo risultato suggerisce che, pur avendo un numero assoluto di comuni coperti inferiore, molte regioni meridionali sono riuscite a raggiungere una copertura percentuale maggiore rispetto a quelle settentrionali, evidenziando un diverso approccio nella distribuzione della tecnologia UBB sul territorio nazionale.

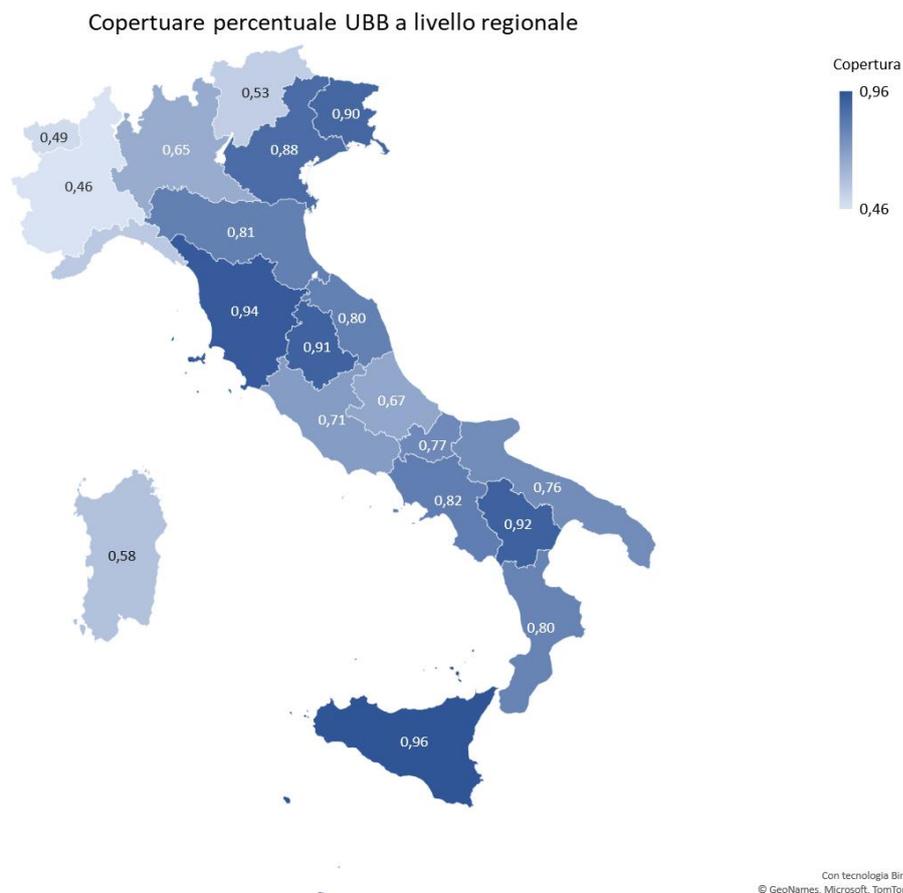


Figura 9: Copertura percentuale UBB a livello regionale

Dopo aver formulato diverse ipotesi in merito alla differente distribuzione della copertura UBB tra il Nord e il Sud Italia, risulta necessario esaminare in modo dettagliato l'evoluzione della copertura a livello macroregionale nel periodo compreso tra il 2012 e il 2022 (Figura 10).

La rappresentazione grafica illustra il numero di comuni, raggruppati per macroregioni, che dispongono dell'accesso alla banda ultra larga. Dai dati emerge che la macroregione del Sud e delle Isole presenta la maggiore copertura, seguita dal Nord-Ovest. Tuttavia, è importante sottolineare che questa classificazione può risultare fuorviante poiché la macroregione Sud e Isole comprende otto regioni, mentre il Nord-Ovest ne include solo quattro.

Nonostante questa differenza nella composizione delle macroregioni, il grafico evidenzia un trend positivo in tutte le aree considerate, sebbene con intensità di crescita differenziate. Questa tendenza conferma l'ampliamento progressivo della disponibilità di banda ultra larga in tutto il territorio nazionale, anche se con ritmi di sviluppo variabili tra le diverse aree geografiche.

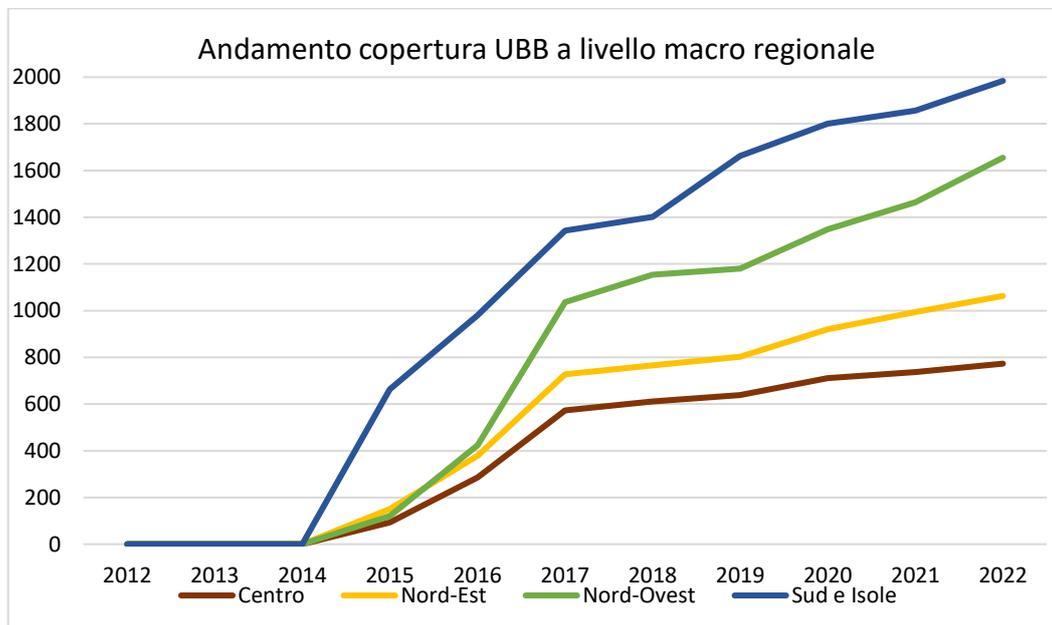


Figura 10: Evoluzione temporale copertura UBB a livello macro regionale

3.2.2 Diffusione della configurazione FTTH

In questa sezione sarà esaminata la copertura delle connessioni in fibra ottica con configurazione FTTH (Fiber to the Home). Inizialmente, sarà effettuato un confronto con la tecnologia precedentemente analizzata, per poi proseguire con analisi specifiche focalizzate esclusivamente sulla diffusione e le caratteristiche della tecnologia FTTH.

Le soluzioni integralmente in fibra ottica FTTH sono state implementate significativamente più tardi rispetto all'introduzione della banda ultralarga e la loro diffusione, ad oggi, rimane limitata. Come illustrato nella Figura 11, l'adozione della tecnologia FTTH in Italia ha registrato un ritardo di due anni rispetto all'introduzione della banda ultralarga, con una penetrazione graduale, infatti al 2022, si registrano solo 3.238 comuni italiani coperti da connessioni FTTH, pari a una percentuale modesta rispetto alla copertura totale della banda ultralarga. Questa analisi evidenzia come gli operatori di telecomunicazioni abbiano inizialmente privilegiato soluzioni meno costose, adottando protocolli che prevedono una combinazione di fibra ottica e rame, come nel caso delle soluzioni Fiber to the Cabinet (FTTC). Tuttavia, l'incremento registrato rispetto al 2021 è significativo, suggerendo che la diffusione di tale configurazione potrebbe accelerare nel tempo, specialmente in risposta a politiche di incentivo alla digitalizzazione e all'aumento della domanda di connessioni ad alta velocità.

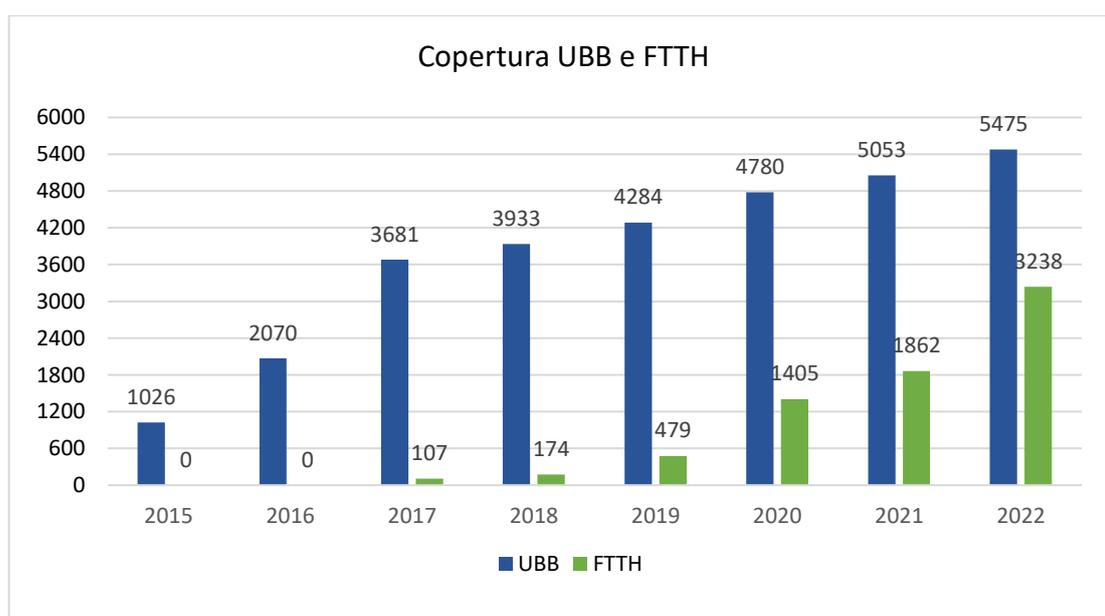


Figura 11: Numero di comuni raggiunti dalla banda ultra larga e dalla infrastruttura di tipo FTTH

Nei capitoli precedenti sono stati analizzati gli investimenti in infrastrutture di rete in fibra ottica da parte dei due principali operatori del mercato italiano, TIM e Open Fiber. La Figura 12 seguente fornisce un'analisi comparativa dei livelli di copertura raggiunti dai due operatori nel periodo compreso tra il 2012 e il 2022. Dall'analisi dei dati, emerge che Open Fiber detiene la maggior parte della copertura a livello comunale, infatti nel 2022 si registra un totale di 2.498 comuni, a fronte di una copertura significativamente inferiore da parte di TIM, che si attesta su un valore inferiore alla metà.

L'andamento dei due operatori rivela dinamiche di crescita differenziate infatti, Open Fiber ha registrato un aumento continuo e graduale del numero di comuni coperti nel corso degli anni. Al contrario, TIM mostra un andamento stabile fino al 2021, con un aumento significativo della copertura soltanto nel 2022. Queste dinamiche suggeriscono l'adozione di strategie di sviluppo distinte da parte dei due operatori nel corso del decennio.

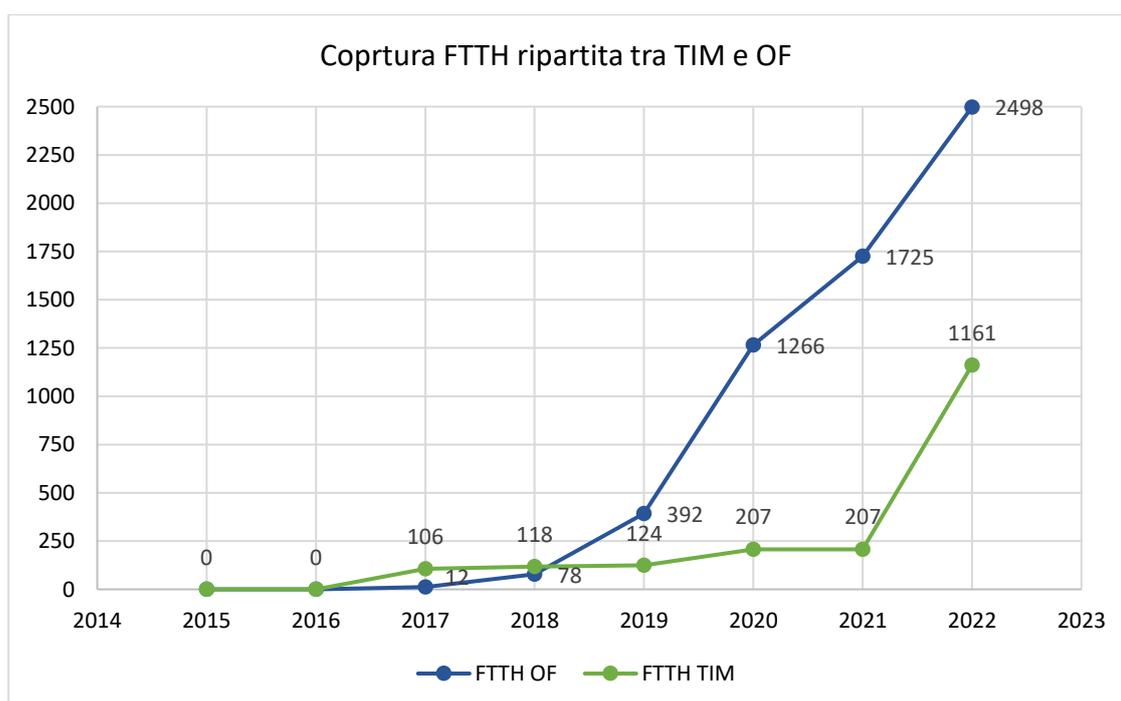


Figura 12: Numero di comuni con copertura FTTH, ripartiti tra gli operatori TIM e OF

Oltre all'analisi della copertura comunale, è opportuno esaminare anche la copertura a livello demografico, poiché questa può fornire ulteriori indicazioni sulle strategie di espansione degli operatori. La Figura 13 evidenzia una situazione di variabilità maggiore

rispetto a quella osservata nella copertura territoriale, infatti, la leadership nella copertura, si alterna tra TIM e Open Fiber a seconda degli anni considerati.

Nello specifico, Open Fiber presenta un incremento costante della copertura demografica nel tempo, suggerendo una strategia orientata a raggiungere un ampio numero di comuni, anche in aree con densità demografica medio-bassa. Al contrario, TIM evidenzia un andamento più irregolare, la copertura rimane stabile tra il 2017 e il 2021, per poi registrare un incremento significativo nel 2022. Queste evidenze indicano che TIM potrebbe aver adottato una strategia mirata alla copertura di aree a più alta densità demografica, differenziandosi in tal modo dall'approccio di Open Fiber.

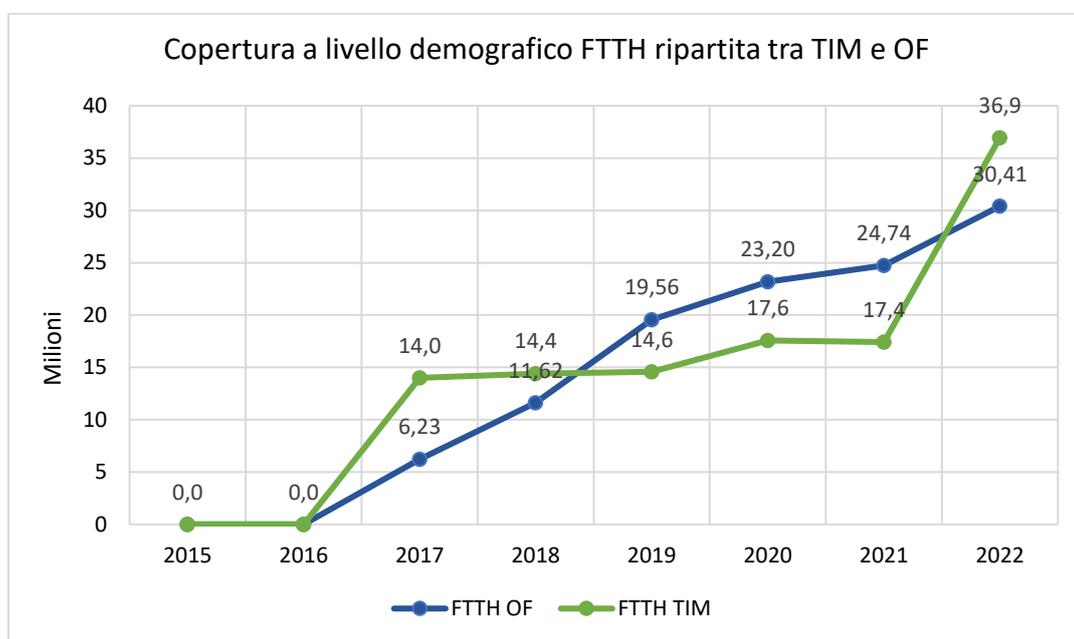


Figura 13: Ripartizione della copertura FTTH tra gli operatori TIM e OF a livello demografico

Per un'analisi più dettagliata delle dinamiche di copertura di Open Fiber e TIM, sono stati inclusi quattro grafici che esaminano la copertura a livello regionale per gli anni 2019, 2020, 2021 e 2022 (Figura 14-15-16-17). Questi grafici permettono di confrontare la distribuzione e l'evoluzione della copertura fornita dai due operatori nel corso del tempo. Gli anni precedenti, dal 2017 al 2019, sono stati esclusi dall'analisi in quanto rappresentano la fase iniziale dello sviluppo della tecnologia FTTH, caratterizzata da una maggiore incertezza e da investimenti limitati e meno rilevanti. A partire dal 2019, la

crescita della copertura riflette in modo più accurato il consolidamento degli investimenti, non più soggetti all'incertezza legata al lancio iniziale della tecnologia

L'andamento della copertura nei diversi comuni, rappresentato nei grafici, può essere interpretato come un indicatore proxy degli investimenti effettuati dagli operatori nelle infrastrutture di fibra ottica, in particolare per il completamento del cosiddetto ultimo miglio. Questo tratto finale della rete è cruciale per garantire la connettività diretta agli utenti finali, e i tassi di copertura evidenziati nei grafici riflettono la capacità degli operatori di sviluppare e implementare le loro infrastrutture su scala territoriale.

Si precisa che, per una corretta interpretazione dei grafici, i dati relativi alla popolazione sono rappresentati sull'asse verticale di destra, mentre tutte le altre variabili sono associate all'asse verticale di sinistra.

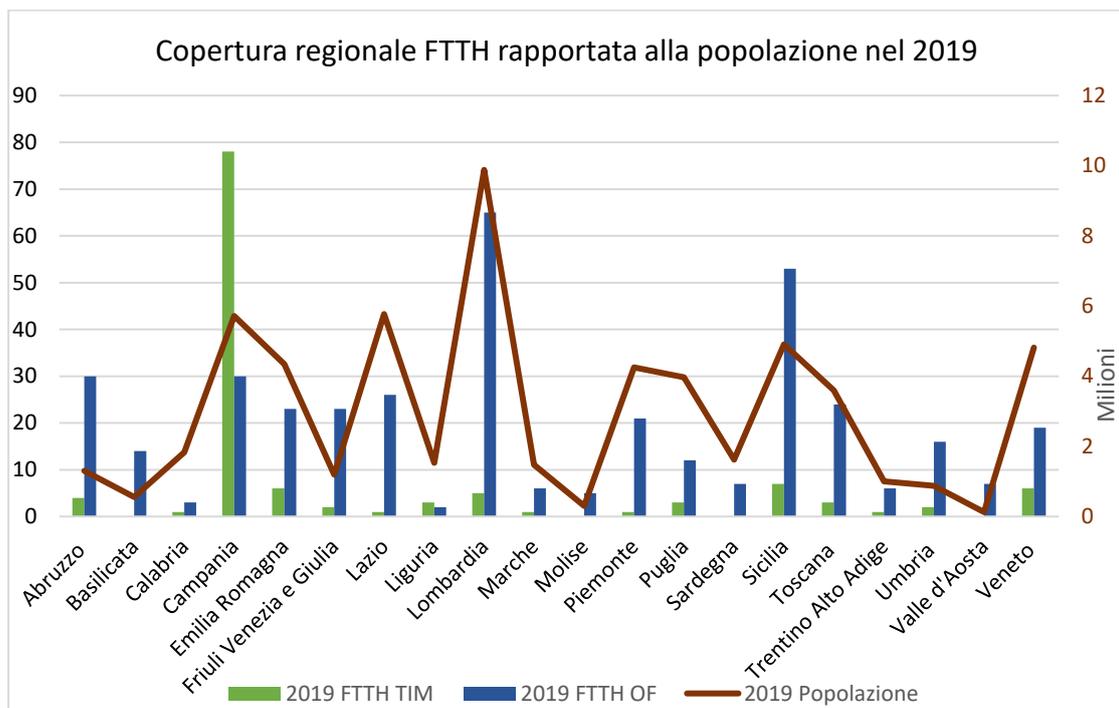


Figura 14: Copertura a livello regionale della FTTH nel 2019

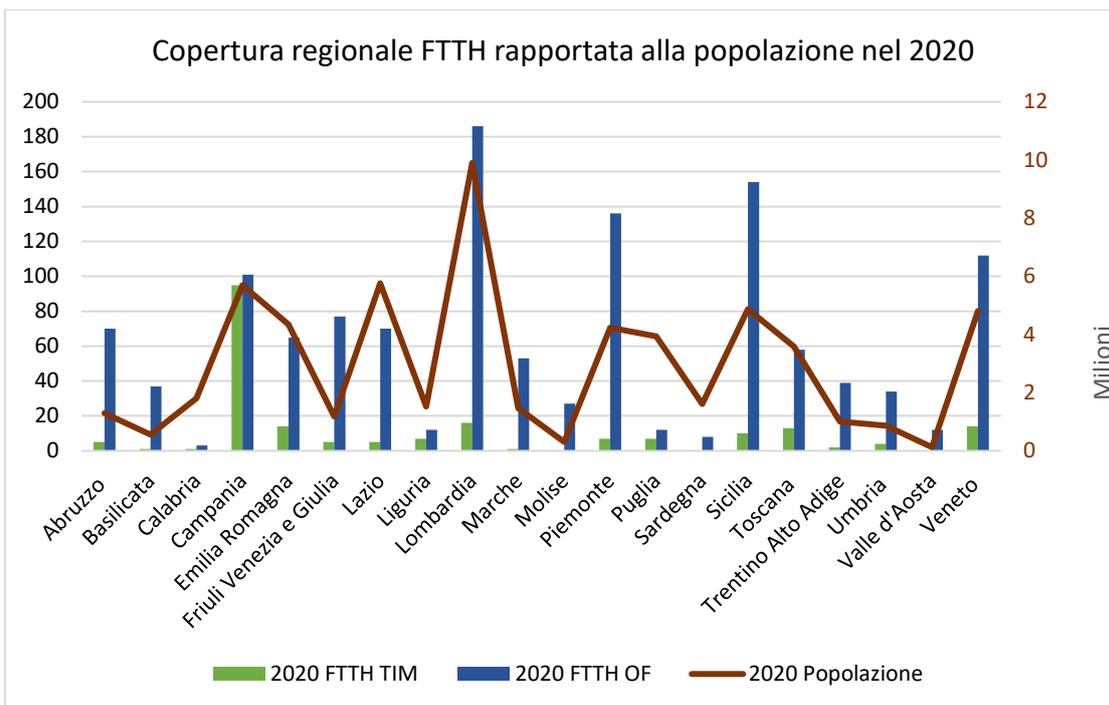


Figura 15: Copertura a livello regionale della FTTH nel 2020

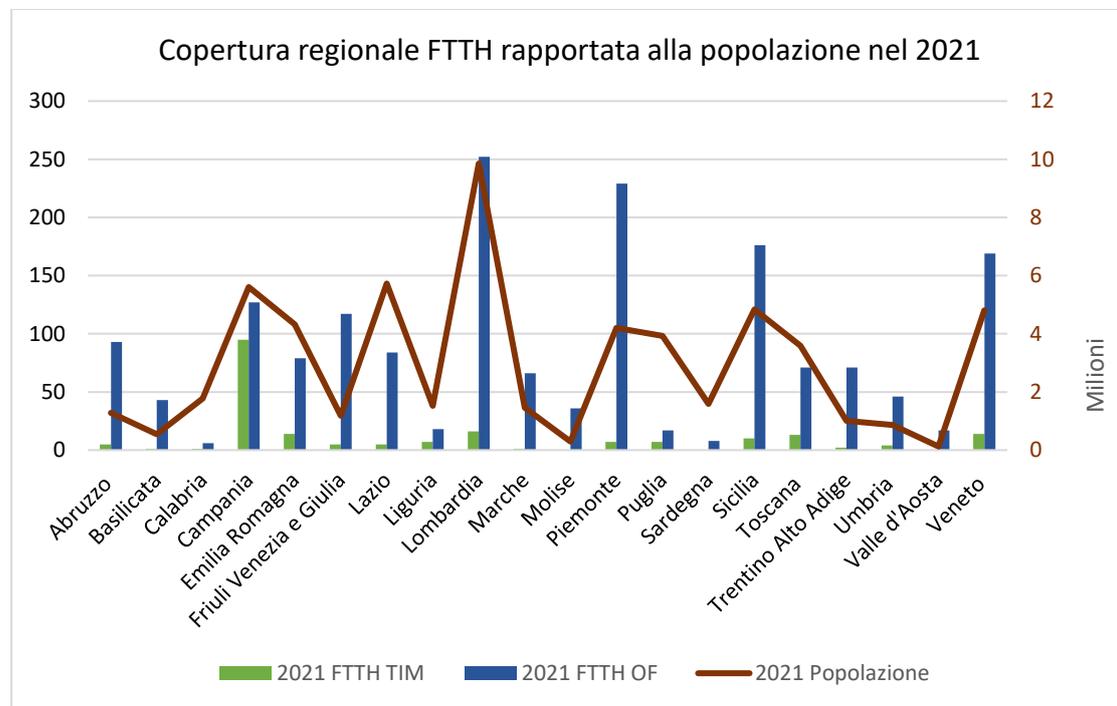


Figura 16: Copertura a livello regionale della FTTH nel 2021

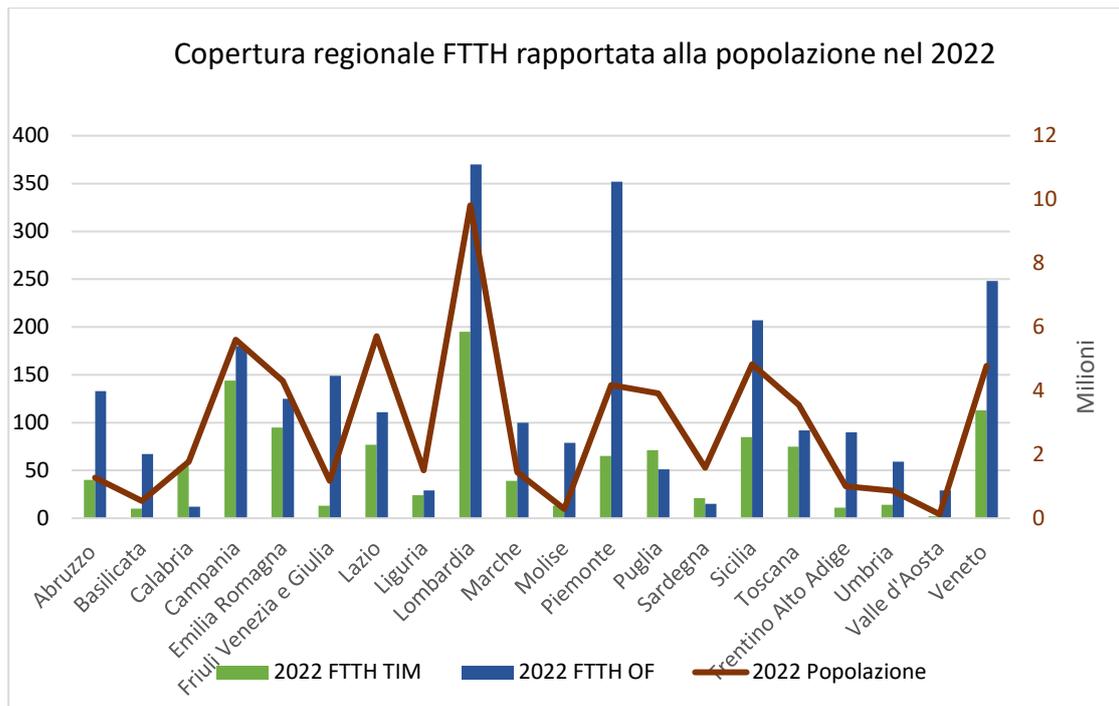


Figura 17: Copertura a livello regionale della FTTH nel 2022

L'analisi delle Figure 14-15-16-17 evidenzia una chiara differenziazione nell'evoluzione temporale della copertura FTTH da parte di TIM e Open Fiber nel periodo 2019-2022. Si osserva una crescita significativa in entrambe le reti, con un incremento più marcato da parte di Open Fiber. Ad esempio, in Lombardia, la copertura di Open Fiber è aumentata da 65 comuni nel 2019 a 370 nel 2022, mentre TIM ha registrato una crescita da 5 a 195 comuni nello stesso intervallo temporale.

L'analisi della variazione annuale della copertura evidenzia un primo significativo incremento tra il 2019 e il 2020 per entrambi gli operatori, con Open Fiber che mostra un aumento particolarmente pronunciato. TIM, invece, ha incrementato marginalmente la propria copertura in alcune regioni, come Campania, Lombardia ed Emilia-Romagna, mantenendo un divario rilevante rispetto a Open Fiber. In Campania, per esempio, la copertura di Open Fiber è passata da 30 comuni nel 2019 a 101 nel 2020, mentre quella di TIM è aumentata da 78 a 95.

Nel periodo 2020-2021, la crescita di Open Fiber ha mantenuto un buon andamento, mentre TIM ha registrato incrementi più modesti. In Lombardia, la copertura di Open Fiber è passata da 186 comuni nel 2020 a 252 nel 2021, con TIM che ha mantenuto un valore stabile di 16 comuni.

Tra il 2021 e il 2022, TIM ha accelerato l'espansione della propria rete in regioni come Campania, Lombardia ed Emilia-Romagna, sebbene Open Fiber abbia continuato a dominare l'espansione nazionale.

Nel complesso, TIM ha seguito una strategia di espansione più graduale rispetto a Open Fiber, con una copertura inizialmente ridotta in molte regioni nel 2019, come Basilicata, Molise e Valle d'Aosta, dove i valori erano prossimi allo zero. Tuttavia, entro il 2022, TIM ha registrato aumenti significativi in alcune regioni, come la Campania (da 78 a 144 comuni), l'Emilia-Romagna (da 6 a 95 comuni) e la Lombardia (da 5 a 195 comuni). Al contrario, Open Fiber ha adottato una strategia di espansione più aggressiva, raggiungendo livelli superiori a quelli di TIM in regioni come Campania, Lombardia, Piemonte, Emilia-Romagna e Toscana. Ad esempio, in Emilia-Romagna, Open Fiber ha incrementato la copertura a livello comunale da 23 unità nel 2019 a 125 nel 2022, mentre TIM è passata da 6 a 95.

Un aspetto di rilievo emerge dall'analisi delle regioni Lombardia e Campania, che presentano una crescita marcata della copertura FTTH per entrambi gli operatori. Nel 2022, la copertura di Open Fiber in Lombardia ha raggiunto 370 unità rispetto alle 195 di TIM, mentre in Campania Open Fiber ha totalizzato 180 unità contro le 144 di TIM. Anche regioni più piccole, quali Molise e Valle d'Aosta, hanno registrato una crescita della copertura, sebbene in misura inferiore rispetto alle regioni più estese.

Altre regioni, come Trentino Alto Adige e Sardegna, hanno mostrato una crescita meno sostenuta, rimanendo indietro rispetto a quelle caratterizzate da una maggior densità abitativa, come Lombardia e Campania. Nel 2022, la copertura di Open Fiber in Lombardia ha raggiunto 370 unità, significativamente superiore alle 29 unità registrate in Valle d'Aosta. Quest'ultima, insieme al Molise, ha mostrato un tasso di crescita inferiore, probabilmente a causa della minore domanda di servizi FTTH rispetto alle regioni più popolate.

In sintesi, Open Fiber ha adottato una strategia di espansione rapida e capillare, estendendo la copertura anche in aree meno popolate, come Basilicata e Valle d'Aosta, mentre TIM si è concentrata maggiormente sulle regioni a più alta densità abitativa. L'espansione di TIM è stata più graduale, con investimenti focalizzati nelle regioni più grandi verso il 2022, come dimostrato dalla crescita moderata osservata tra il 2019 e il 2020. Open Fiber, invece, ha seguito una strategia più aggressiva, espandendo

notevolmente la copertura in un breve periodo, riflettendo probabilmente un maggiore impegno infrastrutturale, supportato da collaborazioni governative.

In conclusione, i dati mostrano che Open Fiber ha guidato l'espansione della rete FTTH in Italia tra il 2019 e il 2022, con una crescita uniforme e continua in quasi tutte le regioni. TIM, pur mostrando progressi, ha adottato una strategia più conservativa, concentrandosi prevalentemente sulle aree più densamente popolate ed economicamente rilevanti. Questo divario tra i due operatori potrebbe avere importanti implicazioni per la futura concorrenza e per il raggiungimento degli obiettivi nazionali di copertura.

3.2.3 Analisi del reddito

In questa sezione sarà esaminata l'evoluzione del reddito, a partire dai dati presenti nel dataset, sia a livello aggregato sia pro capite, al fine di comprendere le dinamiche economiche che influenzano le diverse aree geografiche e le relative differenze. L'analisi sarà supportata da grafici che analizzano l'evoluzione del reddito a livello nazionale, macro-regionale e, infine, per il 2022, a livello regionale. La valutazione del reddito aggregato consente di valutare la ricchezza complessiva prodotta da una regione, fornendo un'indicazione della capacità economica globale e delle risorse disponibili per investimenti e per la spesa pubblica. Tuttavia, esso risente direttamente della dimensione demografica, quindi una regione che presenta una maggior densità di popolazione può presentare valori più elevati, pur non riflettendo un alto livello di benessere individuale. Per questo è riportato anche l'andamento del reddito pro capite, il quale permette di esaminare la distribuzione della ricchezza tra i residenti, fungendo da indicatore del benessere medio e della qualità della vita. La suddetta variabile è stata calcolata come il rapporto tra il reddito aggregato a livello comunale e il numero di contribuenti che partecipano alla sua generazione. Non sono stati presi in considerazione i soggetti che non contribuiscono direttamente alla generazione del reddito comunale, come ad esempio i minori o coloro che non percepiscono un reddito imponibile. Questa scelta metodologica è stata effettuata al fine di ottenere una misura più accurata del reddito pro-capite effettivo generato esclusivamente dai contribuenti attivi, garantendo così una rappresentazione più fedele della capacità economica dei residenti.

Il primo grafico (Figura 18) esamina l'evoluzione temporale del reddito complessivo a livello comunale, evidenziando una crescita costante, interrotta da alcune flessioni legate a eventi macroeconomici. Questa crescita complessiva può essere attribuita a fattori strutturali, come la ripresa dopo la crisi finanziaria globale, e a fattori contingenti, quali l'impatto della pandemia da COVID-19. Nel periodo dal 2012 al 2019, si osserva un trend di crescita moderata del reddito complessivo a livello comunale, il quale passa da 772 miliardi di euro nel 2012 a 840 miliardi nel 2019, con un incremento del 8,8% su base pluriennale. Questo dato suggerisce che l'economia italiana ha registrato una ripresa lenta ma stabile dopo la crisi economica del 2008-2009. Tale ripresa è stata favorita da politiche macroeconomiche che hanno contribuito alla stabilizzazione del sistema bancario e allo stimolo della crescita industriale. Tuttavia, il tasso di crescita annuo si è mantenuto relativamente contenuto, oscillando tra lo 0,5% e l'1,5% annuo.

Successivamente, nel 2020, si registra una lieve contrazione del reddito. Durante quest'anno, il reddito complessivo scende a 822 miliardi di euro, con una riduzione del 2,1%. Questo calo coincide con la recessione economica causata dalla pandemia da COVID-19, che ha provocato l'interruzione delle attività produttive in numerosi settori, in particolare nei servizi, nel turismo e nelle piccole industrie. Tuttavia, la contrazione è stata meno pronunciata di quanto ci si aspettasse, probabilmente grazie alle misure di sostegno al reddito messe in atto dal governo, agli incentivi fiscali e agli investimenti pubblici.

Infine, nel biennio 2021-2022 si nota una ripresa accelerata, il reddito complessivo cresce in modo significativo, raggiungendo 866 miliardi di euro nel 2021, facendo registrare un incremento del 5,3% rispetto al 2020, e 920 miliardi di euro nel 2022, generando un aumento del 6,2%. Questo recupero evidenzia l'efficacia delle politiche di stimolo economico implementate durante e dopo la pandemia, tra cui il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il quale ha promosso la digitalizzazione, l'innovazione e la transizione ecologica. Tali misure hanno contribuito a creare nuove opportunità economiche e a incentivare la creazione di posti di lavoro. Complessivamente, il grafico rappresenta una dinamica di crescita a lungo termine, caratterizzata da una forte accelerazione post-pandemica, favorita anche da un contesto fiscale vantaggioso e da una maggiore stabilità economica a livello internazionale.

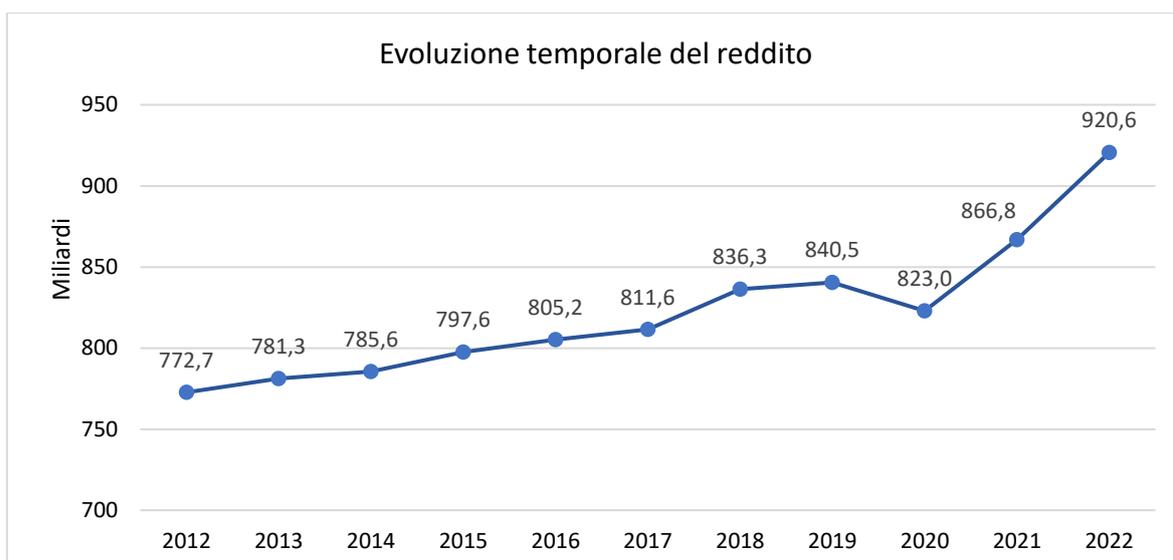


Figura 18: Evoluzione temporale del reddito a livello nazionale

Per completezza, in Figura 19 è riportato il grafico che illustra l'evoluzione temporale del reddito pro capite. Si osserva che il trend di crescita è simile per entrambe le variabili di reddito ma sono presenti alcune differenze significative. Infatti, mentre il reddito totale è aumentato di circa il 19%, passando da 772,7 a 920,6 miliardi, il reddito pro capite ha registrato una crescita più marcata, pari a circa il 16% passando da 127,1 a 151,7 milioni. Questo risultato indica che, pur essendoci stato un incremento del reddito complessivo, l'aumento del benessere economico medio per individuo è stato più moderato. Tuttavia, l'incremento del reddito pro capite non corrisponde necessariamente a un miglioramento uniforme delle condizioni di vita di tutti gli individui. Questo tipo di crescita economica potrebbe essere influenzato da fattori come l'aumento delle disparità di reddito o l'inflazione, che potrebbe erodere il potere d'acquisto di una parte della popolazione, nonostante l'apparente crescita dei valori nominali.

Inoltre, si rileva che la crisi del biennio 2019-2020 ha avuto un impatto su entrambi gli indicatori, ma il reddito pro capite ha subito una contrazione percentuale inferiore rispetto al reddito totale, infatti si registra un calo del 2,1% per il valore aggregato e del 1,1% per il valore pro capite. Questo dato suggerisce una maggiore resilienza dell'indicatore pro capite durante il periodo di crisi, probabilmente grazie a un impatto relativamente meno severo sulle dinamiche individuali rispetto alla contrazione complessiva della ricchezza.

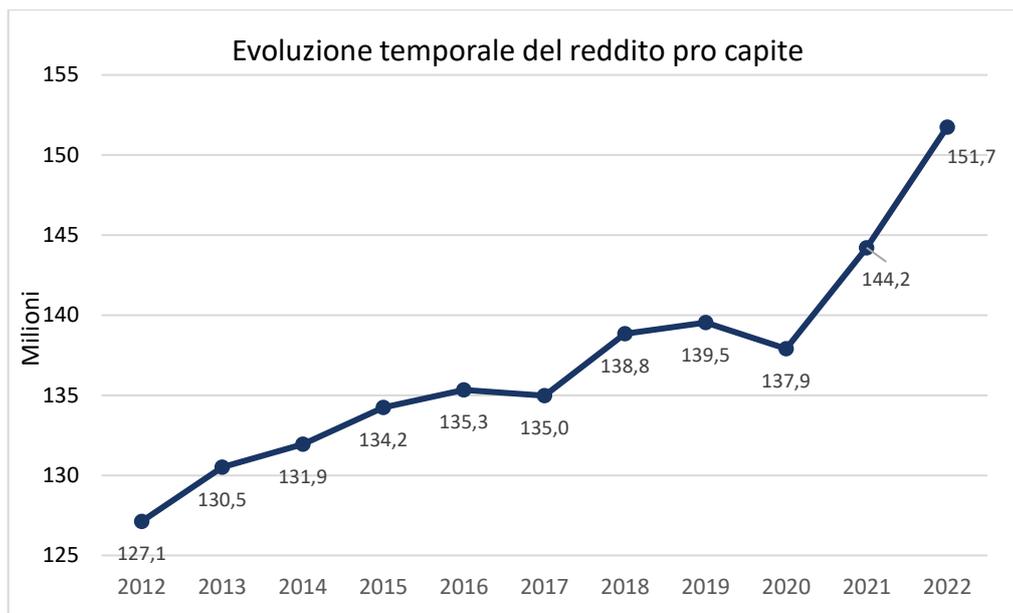


Figura 19: Evoluzione temporale del reddito aggregato pro capite

Successivamente si è deciso di investigare l'evoluzione temporale del reddito suddiviso per macro-regioni, ossia Nord-Est, Nord-Ovest, Centro e Sud/Isole. Questa segmentazione territoriale mette in luce le profonde disparità economiche, storicamente radicate, tra le diverse aree del Paese.

Il grafico in Figura 20, mostra che il Nord-Ovest dell'Italia, in cui sono compresi i comuni del Piemonte, della Liguria, della Lombardia e della Valle d'Aosta, ha registrato il valore di reddito aggregato più alto durante tutto il periodo analizzato. In particolare, il reddito passa da 248 miliardi di euro nel 2012 a 296 miliardi nel 2022, con un aumento complessivo del 19,2%. La crescita di questa macro-regione può essere attribuita alla sua forte base industriale e finanziaria, ossia Milano centro nevralgico per le attività bancarie, assicurative e commerciali. Questo incremento costante del reddito riflette la capacità produttiva altamente sviluppata dell'area e i significativi investimenti in innovazione e tecnologia. La Lombardia, in particolare, ha beneficiato di un'adozione precoce di tecnologie digitali e di automazione industriale, che hanno aumentato la resilienza economica della regione durante le crisi.

Anche il Nord-Est, comprendente i comuni del Veneto, dell'Emilia-Romagna, del Friuli Venezia Giulia e del Trentino-Alto Adige, ha mostrato una dinamica di crescita robusta. Il reddito è passato da 171 miliardi di euro nel 2012 a 210 miliardi nel 2022, segnando un incremento del 22,7%. Questa macro-regione è fortemente industrializzata, con settori

chiave come la meccanica di precisione, l'agroalimentare e il tessile. La crescita è stata inoltre favorita da politiche regionali a sostegno delle piccole e medie imprese, che hanno contribuito a potenziare la competitività internazionale del Nord-Est.

Per quanto riguarda il Centro, per cui sono stati analizzati i comuni della Toscana, del Lazio, delle Marche e dell'Umbria, il reddito ha registrato una crescita più moderata rispetto al Nord, passando da 163 miliardi di euro nel 2012 a 191 miliardi nel 2022, generando un incremento del 17,2%. Il centro Italia è caratterizzato dalla presenza di Roma, che rappresenta un forte sostegno per il settore pubblico e i servizi amministrativi. Tuttavia, la mancanza di un settore industriale robusto ha limitato la capacità di crescita di questa macro-regione rispetto alle regioni settentrionali.

Infine, il Sud e le Isole, comprendenti i comuni della Campania, della Puglia, della Calabria, della Sicilia, del Molise e della Sardegna, rappresentano l'area con la crescita economica più modesta. Il reddito complessivo è cresciuto da 189 miliardi di euro nel 2012 a 222 miliardi nel 2022, facendo registrare un aumento complessivo del 17,3%. Tuttavia, questa crescita è stata irregolare, con periodi di stagnazione tra il 2016 e il 2020. Il Sud soffre ancora di carenze infrastrutturali, un mercato del lavoro debole e una bassa attrazione di investimenti esteri. Le politiche di sviluppo regionale non sono state sufficienti per ridurre il divario economico con il nord. Tuttavia, gli investimenti pubblici recenti, soprattutto in digitalizzazione e infrastrutture, hanno permesso un'inversione di tendenza a partire dal 2021.

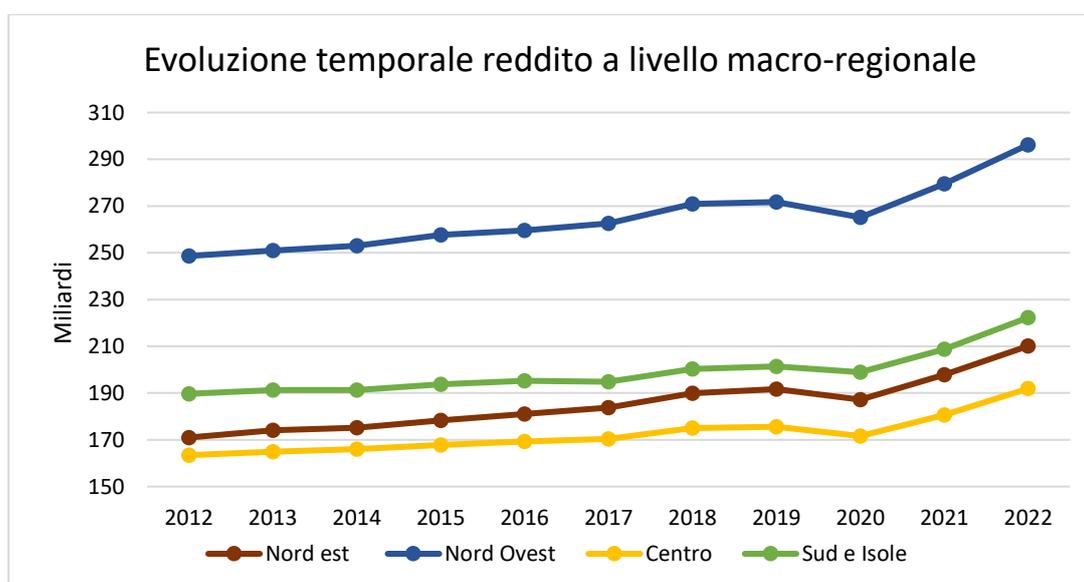


Figura 20: Evoluzione temporale del reddito aggregato a livello macro-regionale

Passando all'analisi dell'evoluzione temporale del reddito pro capite a livello macro regionale (Figura 21), si osserva che le differenze tra le macro-regioni risultano più sfumate rispetto al reddito aggregato. Inoltre, la crescita del reddito pro capite risulta più omogenea tra le diverse aree, evidenziando una certa convergenza nelle condizioni di benessere medio individuale. Tuttavia, il Nord Ovest continua a mantenere un vantaggio rispetto alle altre aree.

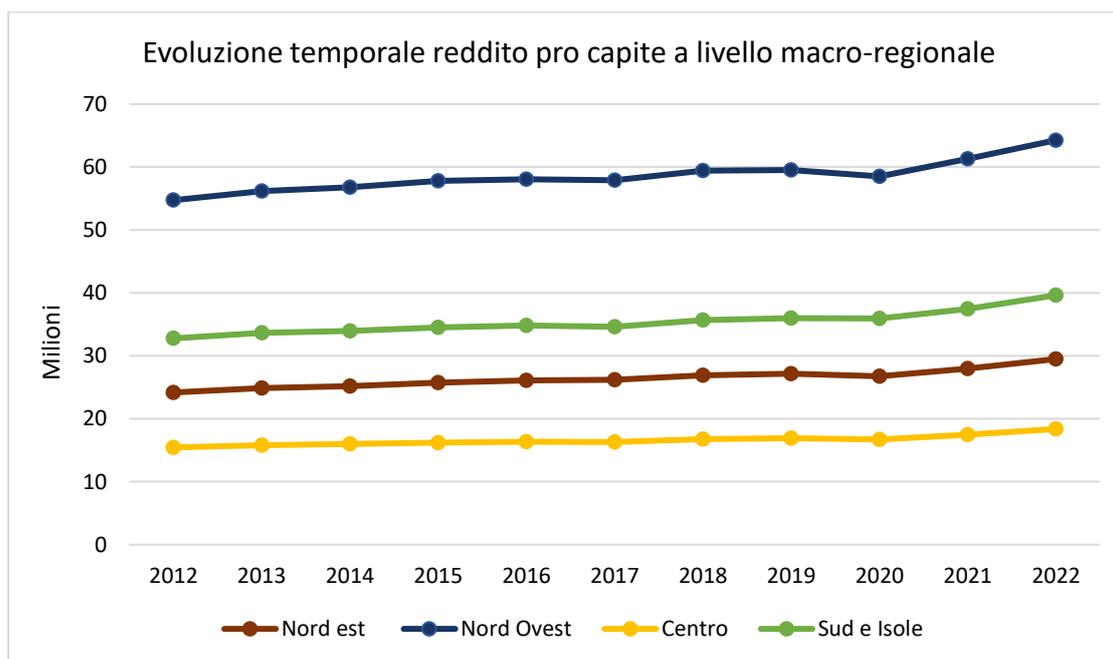


Figura 21: Evoluzione temporale del reddito a livello macro regionale

In seguito, è stata analizzata la distribuzione del reddito sia a livello aggregato sia pro capite, con un focus sulle dinamiche economiche delle regioni italiane nel 2022. Questa analisi consente di valutare le differenze nella capacità produttiva e nella distribuzione della ricchezza tra le varie aree del Paese, evidenziando le regioni che mostrano una maggiore capacità economica complessiva e quelle in cui il benessere individuale medio risulta più elevato. Il grafico in Figura 22 riflette chiaramente le disparità economiche e produttive del Paese, con le regioni del nord che dominano la classifica dei redditi più elevati. In questo contesto, la Lombardia si conferma la regione economicamente più forte, con un reddito complessivo di circa 193 miliardi di euro, che rappresenta quasi il 21% del reddito nazionale complessivo. Questa posizione privilegiata è attribuibile alla

presenza di numerose multinazionali, a un ecosistema industriale avanzato e a una forte concentrazione di servizi finanziari, come già affermato precedentemente.

Il divario con le regioni meridionali rimane ampio, evidenziando le persistenti difficoltà economiche di queste aree. La Campania, con un reddito di 58,9 miliardi di euro, è la più ricca del sud, seguita dalla Sicilia con 50,8 miliardi e dalla Puglia con 45,9 miliardi. Nonostante questi valori, le regioni del Sud affrontano sfide significative, tra cui carenze infrastrutturali, un mercato del lavoro debole e una bassa attrazione di investimenti. In particolare, Basilicata e Molise presentano i redditi più bassi, con rispettivamente 6,6 e 3,6 miliardi di euro, a testimonianza delle difficoltà persistenti in queste aree.

In conclusione, l'analisi del reddito regionale nel 2022 mette in luce come le regioni del Nord continuino a dominare l'economia italiana, mentre le regioni del Sud, pur mostrando segnali di crescita, rimangono indietro, limitate da fattori strutturali che ostacolano la loro capacità di sviluppo. Questo quadro evidenzia l'importanza di politiche economiche mirate, volte a ridurre il divario tra Nord e Sud e a promuovere uno sviluppo più equilibrato e sostenibile a livello nazionale.

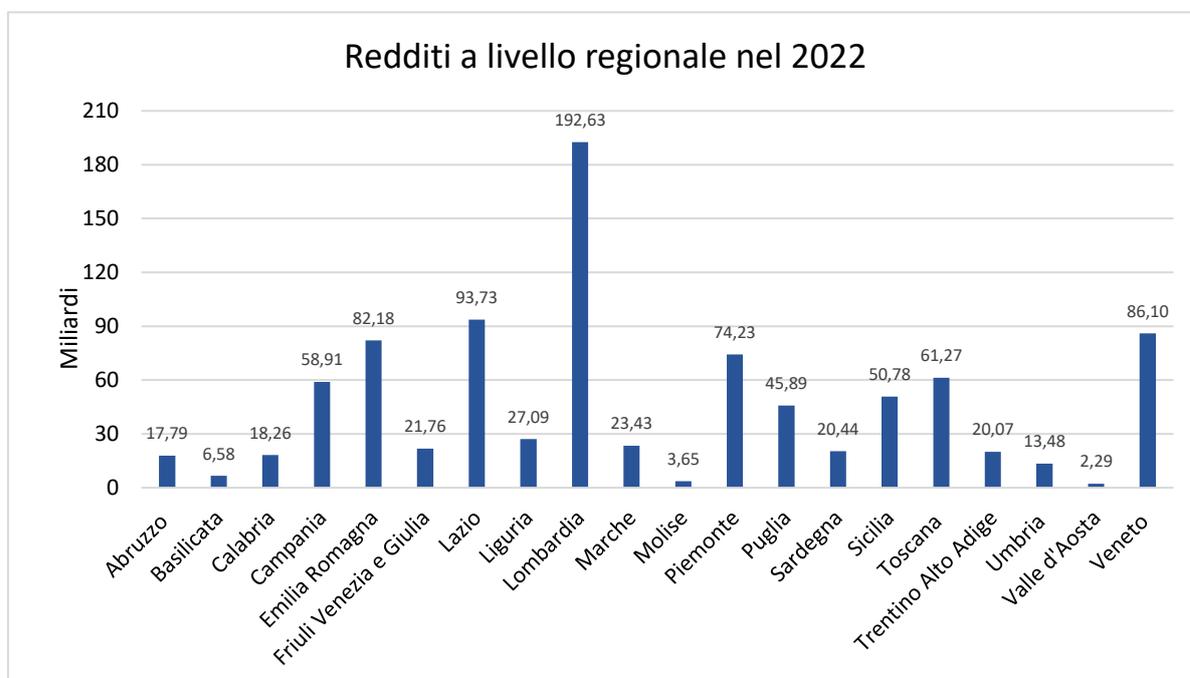


Figura 22: Andamento regionale dei redditi nel 2022

Anche dall'analisi del reddito pro capite (Figura 23), emergono differenze significative tra le regioni italiane, sebbene risultino meno accentuate rispetto alle disparità osservate a livello aggregato. Nel 2022, la Lombardia ha registrato un reddito pro capite di 33,4 milioni, evidenziando il livello di benessere medio più elevato della popolazione. Similmente, il Piemonte, con un reddito pro capite di 24,6 milioni, mostra una condizione economica favorevole. Al contrario, regioni come il Molise e l'Umbria presentano redditi pro capite più contenuti, pari rispettivamente a 2,0 milioni e 1,7 milioni, riflettendo le difficoltà economiche che caratterizzano queste aree.

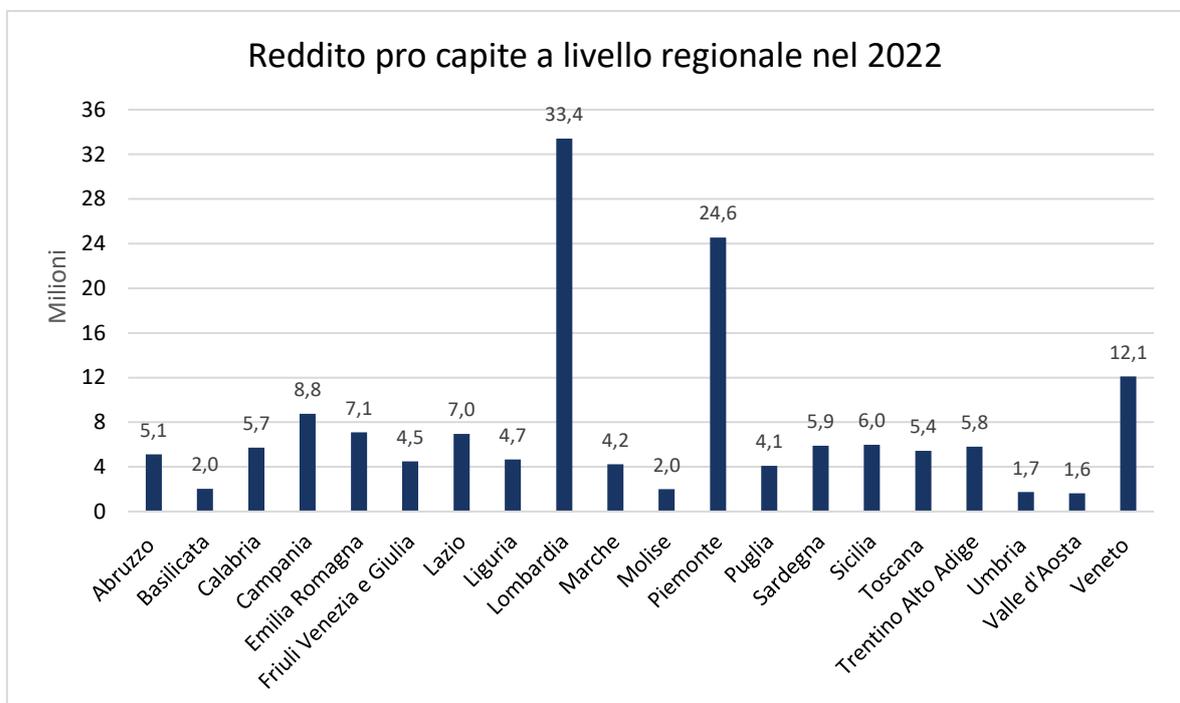


Figura 23: Reddito pro capite a livello regionale nel 2022

Per concludere l'analisi della distribuzione del reddito, attraverso il software RStudio, è stato calcolato l'indice di Gini, una misura statistica utilizzata per quantificare la disuguaglianza economica all'interno di una popolazione. L'indice varia tra 0, che indica uguaglianza perfetta, ossia tutti gli individui presentano lo stesso reddito, e 1, che rappresenta la massima disuguaglianza, ossia tutto il reddito è concentrato in un solo individuo. Un modo comune per rappresentare graficamente l'indice di Gini è tramite la curva di Lorenz, che visualizza la distribuzione cumulativa del reddito rispetto alla

popolazione. Se la distribuzione fosse perfettamente equa, la curva coinciderebbe con la linea di uguaglianza, ossia la diagonale a 45°. In pratica, la curva di Lorenz tende a posizionarsi al di sotto di questa linea, e la distanza dalla linea di uguaglianza indica il livello di disuguaglianza. L'indice di Gini è definito come il rapporto tra l'area compresa tra la linea di uguaglianza e la curva di Lorenz, e l'area totale sotto la linea di uguaglianza.

Nella presente analisi, disponendo di dati aggregati a livello comunale, l'indice di Gini riflette la disuguaglianza nella distribuzione del reddito pro capite tra i comuni. Un valore elevato dell'indice indica una significativa disparità economica tra i comuni, mentre un valore basso suggerisce una distribuzione più omogenea del reddito. L'utilizzo del reddito pro capite consente di considerare le differenze nelle dimensioni della popolazione, evitando distorsioni dovute al confronto diretto dei redditi aggregati tra comuni di diversa dimensione.

I valori dell'indice di Gini calcolati per gli anni 2019-2022 evidenziano una lieve oscillazione nella disuguaglianza tra i comuni, tale variazione tuttavia è talmente contenuta da risultare impercettibile nelle rappresentazioni grafiche sottostanti (Figure 24-25-26-27).

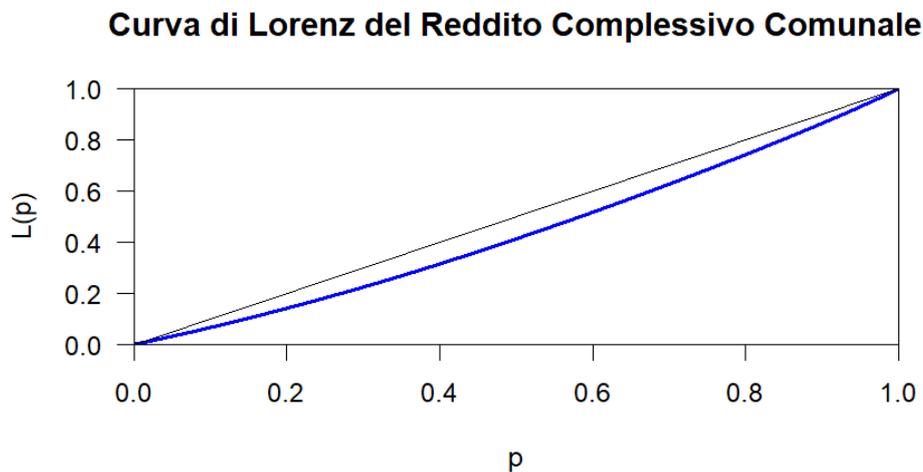


Figura 24: Curva di Lorenz del reddito complessivo comunale pro capite per il 2019

Curva di Lorenz del Reddito Complessivo Comunale

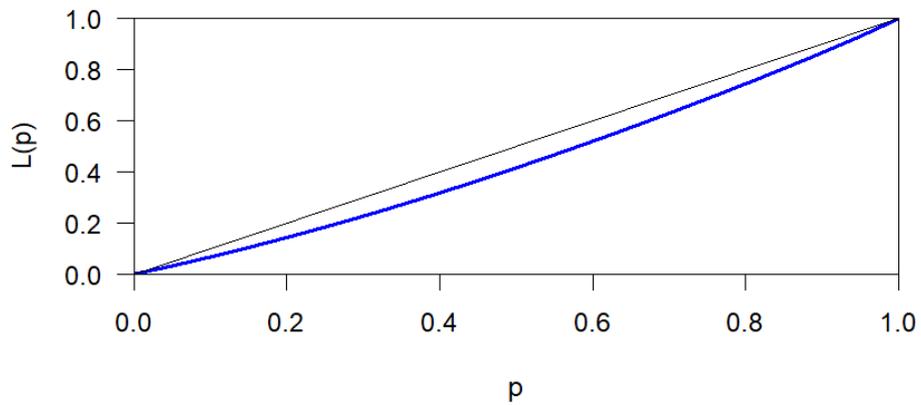


Figura 25: Curva di Lorenz del reddito complessivo comunale pro capite per il 2020

Curva di Lorenz del Reddito Complessivo Comunale

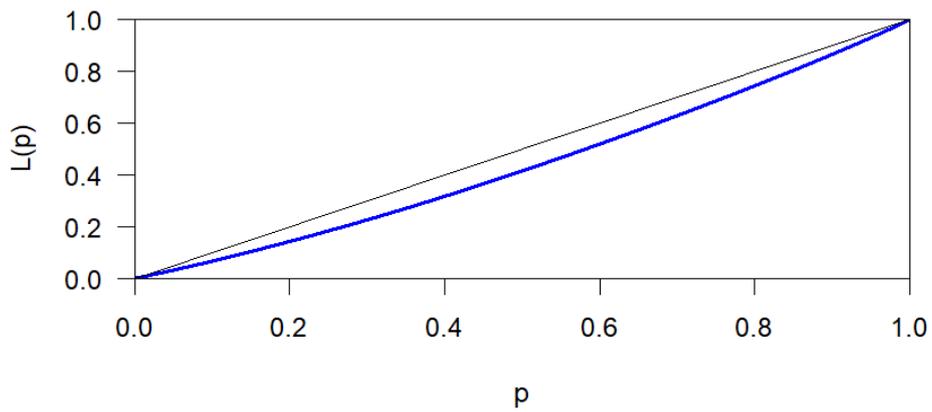


Figura 26: Curva di Lorenz del reddito complessivo comunale pro capite per il 2021

Curva di Lorenz del Reddito Complessivo Comunale

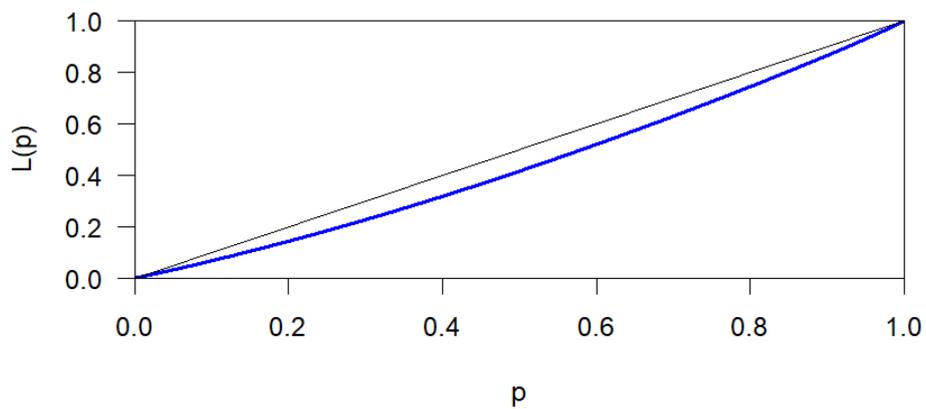


Figura 27: Curva di Lorenz del reddito complessivo comunale pro capite per il 2022

Nel 2019, l'indice di Gini si attesta a 0.1221106, il valore più elevato nel periodo esaminato, indicando una maggiore disuguaglianza nella distribuzione del reddito pro capite tra i comuni. Nel 2020, l'indice di Gini scende a 0.1183512, suggerendo una lieve riduzione della disuguaglianza. Le misure di sostegno economico adottate durante la pandemia di COVID-19, come sussidi e aiuti governativi, potrebbero aver avuto un impatto redistributivo, contribuendo a colmare in parte il divario di reddito tra i comuni. Nel 2021 si osserva una leggera inversione di tendenza, con l'indice di Gini che sale a 0,1193. Sebbene l'aumento sia marginale, potrebbe indicare un graduale ritorno alla concentrazione del reddito in alcuni comuni più prosperi, riflettendo forse la ripresa di dinamiche economiche diseguali, oppure segnalare che gli effetti positivi delle misure emergenziali messe in atto durante i periodi più critici della pandemia stavano cominciando a perdere efficacia. Tuttavia, già nel 2022 l'indice di Gini torna a scendere, raggiungendo 0,1179. Questo calo potrebbe essere interpretato come un segnale che gli sforzi per ridurre le disuguaglianze economiche tra i comuni, ad esempio attraverso incentivi fiscali, interventi governativi o la ripresa di settori economici più inclusivi, hanno iniziato a dare i loro frutti. È possibile che l'introduzione di nuove misure di supporto economico o il riadattamento delle politiche locali abbiano contribuito a frenare il rischio di concentrazione del reddito, favorendo invece una distribuzione più equa. Tuttavia, sarà necessario continuare a monitorare attentamente questa dinamica nei prossimi anni per comprendere se questo trend al ribasso rappresenti un consolidamento strutturale verso una minore disuguaglianza o se sia solo una fluttuazione temporanea.

Capitolo 4: Analisi Econometrica

Il presente capitolo si propone di analizzare e quantificare l'impatto causale della diffusione della banda ultra larga sulla crescita economica a livello locale. A tal fine, è stato impiegato un dataset di tipo panel che integra dati sul reddito comunale annuo, considerato come proxy del prodotto interno lordo a livello territoriale, per il periodo compreso tra il 2012 e il 2022. Questa scelta metodologica consente di valutare l'andamento economico in modo dettagliato e coerente nel tempo. Parallelamente, sono stati utilizzati dati relativi alla progressiva introduzione e diffusione della banda ultra larga, la cui implementazione è avvenuta a partire dal 2015, permettendo così un'analisi temporale accurata degli effetti dell'entrata scaglionata di tale tecnologia sulle dinamiche di crescita economica dei diversi comuni. L'integrazione di queste informazioni consente di esplorare l'interazione tra infrastruttura digitale avanzata e sviluppo economico, fornendo una base empirica solida per l'analisi degli effetti specifici della banda ultra larga sul benessere economico locale.

4.1 Metodo Ordinary Least Squares (OLS)

Il primo metodo impiegato per stimare l'effetto causale di una variazione della variabile indipendente sulla variabile dipendente è il metodo dei minimi quadrati ordinari (Ordinary Least Squares, OLS), il quale rappresenta l'approccio più comunemente utilizzato nell'ambito della regressione lineare. Questo metodo si fonda sull'assunzione che esista una relazione lineare tra le variabili di interesse, consentendo di minimizzare la somma dei quadrati delle differenze tra i valori osservati della variabile dipendente e quelli predetti dal modello. Per una migliore comprensione del funzionamento dell'OLS, è utile fare riferimento al modello di regressione lineare più semplice, espresso nella forma seguente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Dove:

- Y è la variabile dipendente

- i rappresenta una generica osservazione (X_i, Y_i) all'interno del campione composto da n osservazioni
- X è la variabile indipendente anche nota come regressore
- β_0 e β_1 sono i parametri da stimare nel modello di regressione lineare e rappresentano rispettivamente l'intercetta e il coefficiente angolare della retta stimata. In particolare, β_1 quantifica l'effetto marginale di una variazione unitaria della variabile indipendente X sulla variabile dipendente Y
- ε_i è l'errore, o residuo, di regressione. È costituito da fattori omessi, ovvero fattori diversi dalla variabile X che influenzano la Y

L'intercetta β_0 e la pendenza β_1 della retta di regressione della popolazione sono parametri incogniti. Pertanto, è necessario utilizzare i dati disponibili per stimare questi parametri. Tra le infinite possibili combinazioni di β_0 e β_1 , lo stimatore dei minimi quadrati (OLS) seleziona quella che minimizza la somma dei quadrati delle differenze tra i valori osservati della variabile dipendente e i corrispondenti valori predetti dalla retta di regressione stimata, ovvero $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \hat{X}_i$. Questo processo garantisce che la retta stimata sia quella che meglio si adatti ai dati, riducendo al minimo l'errore complessivo di previsione. La formula che definisce lo stimatore OLS è la seguente:

$$\min_{\beta_0, \beta_1} \sum_{i=1}^n [Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i)]^2 \quad (2)$$

La soluzione di questo problema di minimizzazione può essere ottenuta tramite l'applicazione del calcolo differenziale, derivando la funzione obiettivo rispetto ai parametri β_0 e β_1 e risolvendo il sistema di equazioni risultante.

La bontà dell'adattamento di un modello di regressione ai dati può essere valutata attraverso due misure principali:

- I. Il coefficiente di determinazione R^2 rappresenta la proporzione della varianza totale della variabile dipendente Y che è spiegata dal modello di regressione tramite la variabile indipendente X . In termini statistici, R^2 quantifica l'accuratezza con cui il modello predittivo descrive la variabilità dei dati osservati. Il suo valore può variare tra 0 e 1, un valore di R^2 prossimo a uno indica che il modello spiega una porzione significativa della variabilità di Y ,

mentre un valore vicino a zero segnala che il modello ha una capacità esplicativa molto limitata. La formula per calcolare R^2 è espressa come:

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

Noto che:

$$TSS = ESS + SSR$$

ESS: Explained Sum of Squares

TSS: Total Sum of Squares

SSR: Sum of Squares Residuals

- II. Errore standard della regressione, SER, è uno stimatore della dispersione dei residui attorno alla retta di regressione. Ossia, quantifica la precisione con cui il modello di regressione predice i valori della variabile dipendente Y.

$$SER = \sqrt{\frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2} \quad (4)$$

K: numero di parametri

Il metodo dei minimi quadrati ordinari si basa su tre assunzioni fondamentali che devono essere soddisfatte congiuntamente affinché gli stimatori ottenuti siano consistenti e non distorti.

La prima di queste assunzioni richiede che la distribuzione del residuo, condizionata alla variabile indipendente, abbia media nulla, espressa formalmente come $E(\varepsilon|X=x) = 0$. Questo implica che, per ogni valore di X, la media degli errori sia pari a zero, garantendo così che le previsioni del modello non siano sistematicamente sovrastimate o sottostimate. Va sottolineato che questa condizione non richiede che la media di tutti i residui sia uguale a zero, ma che ciò avvenga per ciascun livello di X. Tuttavia, la presenza di variabili omesse può introdurre correlazione tra la variabile indipendente e il residuo, violando questa assunzione. Un'altra formulazione equivalente di questa condizione è che la variabile indipendente non deve essere correlata con il residuo. Quando questa assunzione è soddisfatta, si garantisce che lo stimatore $\hat{\beta}_1$ sia non distorto, ovvero che, in media, esso coincida con il vero parametro β_1 della popolazione. In generale, questa

assunzione è pienamente rispettata in contesti di esperimenti controllati casualizzati, dove l'assegnazione delle variabili indipendenti è determinata in modo casuale, eliminando ogni possibile correlazione tra le variabili esplicative e gli errori.

La seconda assunzione consiste che ogni coppia di valori (X_i, Y_i) deve essere identicamente e indipendentemente distribuita. Questa condizione è garantita nel caso in cui le osservazioni (X, Y) siano ottenute attraverso un campionamento casuale semplice. In tale contesto, tutte le unità del campione sono selezionate dalla medesima popolazione, il che implica che siano identicamente distribuite. Inoltre, poiché le unità vengono scelte in modo casuale, esse risultano anche indipendentemente distribuite. Questa assunzione è cruciale per assicurare la validità dei risultati ottenuti dal modello di regressione, poiché garantisce che ogni osservazione contribuisca in modo indipendente all'estimazione dei parametri, senza influenze sistematiche derivanti da correlazioni tra i dati.

L'ultima assunzione richiede che la presenza di *outlier*, sia nella variabile indipendente X che in quella dipendente Y , sia rara. Formalmente, questa condizione si esprime richiedendo che X e Y abbiano momenti quarti finiti, il che implica una distribuzione con code relativamente sottili. Il momento quarto, noto anche come curtosi, misura il grado di concentrazione delle osservazioni nelle code della distribuzione, ossia la proporzione di dati che si trovano nelle fasce estreme, sia a destra che a sinistra rispetto alla media. Curtosi elevata suggerisce la presenza di osservazioni più frequenti nelle code, il che potrebbe indicare la presenza di *outlier* influenti, che possono distorcere le stime del modello e compromettere la validità degli stimatori OLS. Pertanto, l'assunzione di momenti quarti finiti contribuisce a garantire la stabilità e la robustezza del modello.

La stima tramite il metodo OLS si basa sull'utilizzo di un campione di dati, il che implica che la variazione del campione comporterà stime differenti dei parametri, questo fenomeno è noto come incertezza campionaria. Pertanto è essenziale verificare la significatività statistica del coefficiente stimato, in particolare sottoponendo a verifica l'ipotesi nulla H_0 secondo cui il coefficiente β_1 è pari a zero, contro l'ipotesi alternativa bilaterale H_1 dove si testa che il coefficiente β_1 sia significativamente diverso da zero. Se l'ipotesi nulla non può essere rigettata, si esclude un effetto causale significativo della variabile indipendente X sulla variabile dipendente Y , ovvero non c'è correlazione tra la variabile X e la variabile Y . In caso contrario, se l'ipotesi nulla viene rigettata, si conclude che esiste un effetto significativo, la cui entità è data dal valore di β_1 .

Per testare l'ipotesi statistica esistono tre principali metodi, implementabili tramite software come Stata, che implicano l'accettazione di un margine di errore.

In primo luogo, è possibile condurre il test t definendo un livello di significatività α , con valori comunemente utilizzati pari all'1%, 5% o 10%. Questo livello di significatività rappresenta la probabilità di commettere un errore di primo tipo, ovvero di rigettare l'ipotesi nulla H_0 quando essa è in realtà vera. Successivamente, si procede al calcolo della statistica t, definita come il rapporto tra il coefficiente stimato $\hat{\beta}_1$ e l'errore standard ad esso associato, secondo la seguente formula:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - 0}{SE(\hat{\beta}_1)} \quad (5)$$

Il valore calcolato di t viene poi confrontato con il valore critico della distribuzione t di Student, determinato per il livello di significatività α e $n-1$ gradi di libertà. Se la statistica t calcolata in valore assoluto è maggiore del valore critico, ossia:

$$|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \quad (6)$$

Allora si può rigettare l'ipotesi nulla H_0 a favore dell'ipotesi alternativa H_1 con un livello di significatività pari ad α , indicando che il coefficiente stimato è statisticamente significativo e che esiste un effetto rilevante della variabile indipendente X sulla variabile dipendente Y.

Un'alternativa è il calcolo del p-value. Il p-value indica la probabilità di commettere un errore di primo tipo, ovvero di rigettare erroneamente l'ipotesi nulla H_0 quando essa è vera. Più precisamente, il p-value quantifica la probabilità che i risultati osservati, o risultati più estremi, possano verificarsi sotto l'ipotesi nulla. Se il p-value calcolato risulta inferiore al livello di significatività prefissato α (ad esempio 1%, 5% o 10%), si può rigettare l'ipotesi nulla, affermando che il coefficiente stimato sia statisticamente significativo.

Infine, è possibile costruire un intervallo di confidenza al $(1-\alpha)\%$ per il coefficiente stimato. Questo intervallo rappresenta la gamma di valori che contiene il vero valore di β_1 nel $(1-\alpha)\%$ dei campioni casuali estratti. L'intervallo è dato da:

$$I_{(1-\alpha)\%} = \hat{\beta}_1 \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} SE(\hat{\beta}_1) \quad (7)$$

Nel contesto dell'analisi in oggetto, è più appropriato adottare un modello di regressione multipla rispetto al semplice modello di regressione lineare con un singolo regressore. La regressione multipla permette di includere più variabili esplicative che possono influenzare la variabile dipendente Y. Questa scelta metodologica risponde alla necessità di considerare simultaneamente l'effetto di diversi fattori che potrebbero avere un impatto significativo su Y, migliorando così la capacità del modello di catturare la complessità delle relazioni esistenti tra le variabili.

L'inclusione di più variabili indipendenti (X_1, X_2, \dots, X_k) consente di mitigare il rischio di distorsione da variabile omessa, un errore che potrebbe portare a stime distorte e incoerenti dei coefficienti di regressione. La specificazione di un modello di regressione multipla permette, infatti, di isolare l'effetto marginale di ogni singola variabile indipendente su Y, tenendo conto e controllando l'influenza delle altre variabili esplicative incluse nel modello.

Affinché si verifichi la distorsione da variabile omessa, una variabile omessa Z deve soddisfare due condizioni: in primo luogo, Z deve essere una determinante di Y, cioè deve influenzare Y e quindi essere parte del termine dell'errore ε . In secondo luogo, Z deve essere correlata con almeno uno dei regressori X_i , cioè deve valere $\text{corr}(Z, X_i) \neq 0$.

La forma generale del modello di regressione multipla può essere espressa come:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (8)$$

Dove β_0 rappresenta l'intercetta, mentre $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ sono i coefficienti associati a ciascuna variabile indipendente. Questi coefficienti misurano l'effetto marginale di ciascuna X_i su Y, tenendo costanti le altre variabili esplicative. In questo modo, il modello è in grado di fornire stime più precise e affidabili dei parametri di interesse, riflettendo con maggiore accuratezza le dinamiche tra le variabili nel contesto analizzato.

L'adozione di un modello a regressori multipli introduce due ulteriori assunzioni fondamentali per garantire la validità delle stime ottenute. La prima è l'assunzione di omoschedasticità, che richiede che la varianza del termine di errore ε sia costante per ogni valore delle variabili indipendenti X_i ossia, l'errore deve avere la stessa dispersione lungo l'intero intervallo delle variabili indipendenti. Se questa condizione non è

soddisfatta, si parla di eteroschedasticità, il che potrebbe compromettere l'affidabilità delle stime dei coefficienti e delle relative inferenze statistiche.

La seconda assunzione è l'assenza di collinearità perfetta tra le variabili indipendenti. Ciò significa che nessuna variabile X_i deve essere esattamente una combinazione lineare delle altre variabili esplicative. La presenza di collinearità perfetta renderebbe impossibile stimare separatamente gli effetti di ciascun regressore sulla variabile dipendente, poiché i coefficienti associati a tali variabili non sarebbero identificabili. Anche la multicollinearità, pur non perfetta, può causare problemi di instabilità delle stime e rendere difficile interpretare l'effetto di ciascun regressore.

Per valutare la bontà di adattamento del modello di regressione multipla, è preferibile utilizzare l' R^2 corretto al posto del semplice R^2 . Quest'ultimo misura la quota di varianza della variabile dipendente spiegata dal modello, tuttavia, ha un limite ossia, aggiungere ulteriori variabili indipendenti alla regressione porta sempre ad un aumento del valore di R^2 , anche quando queste variabili non migliorano realmente la capacità predittiva del modello.

L' R^2 corretto, invece, tiene conto del numero di variabili esplicative aggiunte e del numero di osservazioni nel campione, offrendo una stima più precisa della bontà di adattamento. La formula è la seguente:

$$R^2_{\text{corretto}} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-k-1}\right) \frac{SSR}{TSS} \quad (9)$$

4.1.1 Specificazioni del modello per il caso di studio

Il metodo dei minimi quadrati ordinari (OLS) è stato utilizzato per stimare l'impatto della diffusione della banda ultra larga sul reddito a livello comunale. Il reddito è stato calcolato decurtando i redditi pensionistici al fine di ottenere una proxy più accurata del Prodotto Interno Lordo. Oltre all'analisi dell'impatto sul reddito aggregato, è stato esaminato anche l'effetto sul reddito pro capite, calcolato dividendo il reddito totale, al netto dei redditi pensionistici, per la popolazione attiva nella produzione di reddito, escludendo coloro che

percepiscono pensioni. Questo approccio permette di valutare in maniera più precisa l'impatto degli investimenti in infrastrutture digitali.

Nel modello, la variabile dipendente Y è stata definita come il logaritmo del reddito aggregato e del reddito pro capite. Questa trasformazione consente di interpretare i coefficienti stimati come elasticità, ossia come variazioni percentuali del reddito a seguito di cambiamenti nelle variabili indipendenti.

Sono state implementate diverse specificazioni del modello econometrico, introducendo progressivamente nuovi fattori, con l'obiettivo di ottenere stime robuste dell'impatto causale della diffusione della banda ultra larga sul reddito comunale.

La prima specificazione del modello econometrico è rappresentata dalla seguente equazione:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 UBB_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

In cui:

- i identifica il comune
- t identifica l'anno, compreso tra il 2012 e il 2022

Le variabili considerate sono:

- $UBB_{i,t}$ è una variabile dummy che assume valore 1 se, nel comune i nell'anno t , è presente la banda ultra larga, 0 altrimenti
- $Y_{i,t}$ è la variabile dipendente che rappresenta il logaritmo del PIL aggregato o del PIL pro capite nel comune i nell'anno t
- $\varepsilon_{i,t}$ è il termine di errore

Questo modello permette di stimare l'effetto della presenza della banda ultra larga sulla crescita del PIL o del PIL pro capite, con i coefficienti β_1 interpretati come elasticità. Un β_1 positivo e significativo indica che la presenza della banda ultra larga è associata a un incremento percentuale del PIL o del PIL pro capite nei comuni interessati.

La seconda specificazione del modello econometrico è rappresentata dalla seguente equazione:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 UBB_{i,t} + FE_t + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

dove la variabile FE_t che rappresenta gli effetti fissi annuali, viene utilizzata per controllare le dinamiche temporali. In particolare, questa variabile tiene conto degli eventi macroeconomici che hanno avuto un impatto su tutti i comuni in modo uniforme durante il periodo di studio, compreso tra il 2012 e il 2022. Gli effetti fissi annuali consentono al modello di considerare fattori che variano nel tempo ma non tra i comuni, come ad esempio cambiamenti nelle politiche economiche nazionali, crisi finanziarie globali, o variazioni nelle condizioni del mercato del lavoro che possono aver influito sull'economia complessiva. In questo modo, si riesce a isolare l'impatto delle variabili di interesse evitando che gli shock comuni distorcano i risultati dell'analisi.

La terza specificazione del modello econometrico è rappresentata dalla seguente equazione:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 UBB_{i,t} + FE_t + FE_i + \varepsilon_{i,t} \quad (12)$$

Questa formulazione considera sia gli effetti fissi temporali sia gli effetti fissi comunali.

L'introduzione degli effetti fissi comunali consente di controllare per le caratteristiche strutturali e peculiari di ciascun comune che rimangono invariate nel tempo. Tali caratteristiche includono, ad esempio, la posizione geografica, la dotazione infrastrutturale e altri fattori socio-economici non osservabili, ma potenzialmente rilevanti per spiegare le differenze nei livelli di reddito tra i comuni. In questo modo, il modello riesce a isolare meglio l'effetto specifico della variabile $UBB_{i,t}$ sulla variabile dipendente.

Inoltre, questa specificazione è stata utilizzata per studiare gli effetti della banda ultra larga sul reddito sia a livello aggregato che pro capite, scomponendo l'analisi per macroaree geografiche (Nord-Est, Nord-Ovest, Centro, Sud/Isole). L'obiettivo è quello di comprendere se l'accesso a connessioni in banda ultra larga possa determinare impatti differenti sull'economia locale in base alla localizzazione del comune nella penisola italiana.

La quarta specificazione del modello è rappresentata dalla seguente equazione:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 UBB_{i,t} + \beta_2 FTTH_{i,t} + FE_t + FE_i + \varepsilon_{i,t} \quad (13)$$

In questa specificazione, oltre alla variabile $UBB_{i,t}$ che indica la presenza della banda ultra larga nel comune, viene introdotta una nuova variabile $FTTH_{i,t}$, la quale cattura la presenza della tecnologia *Fiber to the Home* nello stesso comune. Questa variabile permette di distinguere l'effetto specifico di una tecnologia di connessione più avanzata rispetto alla banda larga tradizionale. In particolare, il coefficiente β_2 misura l'impatto incrementale della disponibilità di connessioni FTTH sui livelli di reddito, rispetto alle connessioni FTTC.

Il valore stimato indicherà se l'accesso a FTTH porta un ulteriore incremento del reddito rispetto alla sola presenza di FTTC, e di quale entità.

Anche questo modello è stato impiegato per analizzare come l'effetto della banda ultra larga e delle configurazioni FTTH vari a seconda della macro-regione di appartenenza del comune. Ciò consente di valutare se l'impatto delle diverse tecnologie di connessione sul reddito sia omogeneo a livello territoriale o se vi siano differenze significative legate alla posizione geografica, offrendo un quadro più completo delle dinamiche socio-economiche influenzate dall'infrastruttura digitale nelle diverse macroaree italiane.

4.1.2 Risultati stime OLS

In questa sezione saranno analizzati gli output delle analisi effettuate tramite il software Stata relativi alle stime OLS. I risultati presentati nella Tabella 9 analizzano l'impatto delle infrastrutture digitali sul PIL logaritmico a livello aggregato. Nella prima colonna è stata condotta l'analisi utilizzando la prima specificazione del modello, corrispondente all'equazione (10). Il coefficiente della variabile dummy che rappresenta l'introduzione della banda ultra larga risulta positivo e altamente significativo ($p < 0,01$), con un errore standard molto ridotto. Il coefficiente di 1.124 implica che l'introduzione dell'infrastruttura UBB è associata a un incremento stimato del 112,4% nel PIL, suggerendo un impatto considerevole sull'economia locale. L' R^2 del modello è pari a 0,131, indicando che il 13,1% della varianza nel PIL logaritmico è spiegata dalle variabili incluse nel modello. Questo valore relativamente basso suggerisce che il modello non riesce a catturare tutti i fattori rilevanti che influenzano il PIL, probabilmente a causa

dell'assenza di variabili di controllo come gli effetti fissi comunali e temporali. Ciò può comportare una sovrastima dell'effetto della banda larga, non avendo considerato potenziali fattori strutturali o differenze idiosincratice fra i comuni.

Nella seconda colonna, con l'inclusione degli effetti fissi temporali come indicato nell'equazione (11), il coefficiente della variabile dummy UBB aumenta a 1.587, indicando un incremento più marcato del PIL quando si controllano le variazioni temporali. Questo risultato indica che, una parte dell'effetto positivo della banda larga potrebbe essere stata mascherata dalle fluttuazioni temporali nel modello della prima colonna. L' R^2 aumenta a 0,180, indicando un miglioramento nella capacità del modello di spiegare la variabilità del PIL. L'analisi degli effetti temporali mostra che nel 2013 il coefficiente è 0,00656, ma non risulta statisticamente significativo, implicando che non vi sono variazioni rilevanti nel PIL rispetto al 2012. Dal 2014 al 2022, i coefficienti degli effetti temporali sono negativi, suggerendo un calo del PIL rispetto al 2012, con un coefficiente di -0,9777 nel 2022, che indica una riduzione del 97,7% del PIL rispetto all'anno base.

Nella terza colonna, il modello include sia effetti fissi temporali sia comunali come specificato nell'equazione (12). Ciò consente di controllare per differenze specifiche a ciascun comune, oltre alle variazioni temporali. I coefficienti delle dummy temporali mostrano variazioni significative rispetto alla colonna precedente, con un'inversione di segno per molti anni, indicando una tendenza di crescita nel PIL dal 2015 in poi. Il massimo incremento si registra nel 2022, con un coefficiente di 0,130, equivalente a un aumento del 13% rispetto al 2012. Questo suggerisce che, una volta controllate le differenze comunali, l'andamento del PIL mostra una tendenza al recupero negli ultimi anni. Tuttavia, l'effetto positivo della banda larga UBB è attenuato rispetto alle stime precedenti, con un coefficiente di 0,0175, indicando che parte dell'impatto precedentemente osservato era influenzato da differenze specifiche tra i comuni, ora catturate dagli effetti fissi comunali. L' R^2 aumenta drasticamente fino a 0,999, suggerendo che il modello spiega quasi completamente la varianza del PIL.

Nella quarta colonna è stata introdotta una variabile dummy per esaminare l'impatto della presenza di infrastrutture in fibra ottica FTTH, in conformità con quanto specificato nell'equazione (13). Il coefficiente della variabile UBB rimane simile a quello della colonna precedente e altamente significativo. Tuttavia, il coefficiente per la variabile FTTH è negativo (-0,000467) e non significativo, suggerendo che la presenza di infrastrutture

FTTH non mostra un impatto incrementale, rispetto a soluzioni FTTC, rilevante sul PIL nei comuni analizzati.

Tabella 9: Stime OLS impatto delle infrastrutture digitali sul PIL

| VARIABLES | (1) log_GDP | (2) log_GDP | (3) log_GDP | (4) log_GDP |
|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| dum_UBB | 1.124*** (0.0100) | 1.587*** (0.0110) | 0.0175*** (0.00132) | 0.0176*** (0.00131) |
| dum_FTTH | | | | -0.000467 (0.00154) |
| 2013.anno | | 0.00656 (0.0235) | 0.00656*** (0.000463) | 0.00656*** (0.000463) |
| 2014.anno | | -0.000237 (0.0236) | -0.000237 (0.000609) | -0.000237 (0.000609) |
| 2015.anno | | -0.192*** (0.0227) | 0.0156*** (0.000788) | 0.0156*** (0.000786) |
| 2016.anno | | -0.400*** (0.0221) | 0.0186*** (0.000980) | 0.0186*** (0.000979) |
| 2017.anno | | -0.732*** (0.0220) | 0.0119*** (0.00129) | 0.0119*** (0.00129) |
| 2018.anno | | -0.750*** (0.0221) | 0.0449*** (0.00142) | 0.0448*** (0.00142) |
| 2019.anno | | -0.825*** (0.0225) | 0.0414*** (0.00157) | 0.0413*** (0.00156) |
| 2020.anno | | -0.969*** (0.0230) | -0.00314* (0.00170) | -0.00313* (0.00171) |
| 2021.anno | | -0.960*** (0.0233) | 0.0610*** (0.00181) | 0.0611*** (0.00183) |
| 2022.anno | | -0.977*** (0.0238) | 0.129*** (0.00193) | 0.130*** (0.00201) |
| Constant | 16.43*** (0.00581) | 16.79*** (0.0166) | 16.79*** (0.000779) | 16.79*** (0.000779) |
| Observations | 85,415 | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | 0.131 | 0.180 | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

L'analisi econometrica effettuata precedentemente esamina l'impatto delle variabili sul PIL comunale aggregato. Questo approccio ha fornito una visione d'insieme utile per comprendere il potenziale impatto economico e le prospettive di crescita, fondamentali per giustificare ulteriori investimenti in infrastrutture digitali. Tuttavia, per una comprensione più granulare delle ricadute economiche a livello individuale, le stesse analisi verranno riproposte concentrandosi sul PIL pro capite. Questo nuovo approccio consente di acquisire informazioni più precise sugli effetti medi delle infrastrutture digitali

sui cittadini, delineando un quadro più chiaro dei benefici economici percepiti dalla popolazione e della sostenibilità degli investimenti in digitalizzazione a livello locale.

I risultati ottenuti mediante l'implementazione di quattro specificazioni sono presentati nella Tabella 10. Nella prima colonna, si analizza l'impatto della banda ultra larga sul PIL pro capite, come descritto in equazione (10), evidenziando un effetto positivo e statisticamente significativo ($p < 0,01$). L'impatto è tuttavia modesto, infatti l'introduzione dell'UBB porta a un aumento del PIL pro capite solamente del 4,07%, significativamente inferiore rispetto all'aumento del 112,4% registrato a livello aggregato. Tuttavia, l' R^2 risulta basso (0,006), suggerendo la necessità di includere ulteriori variabili per cogliere appieno l'effetto delle infrastrutture digitali.

Nella seconda colonna sono stati introdotti gli effetti fissi annuali come riportato in equazione (11). L'inclusione delle variabili temporali riduce significativamente l'impatto osservato nella colonna precedente, suggerendo che una parte dell'effetto era dovuto a shock temporali e non esclusivamente alla presenza dell'UBB. Le variabili temporali relative agli anni dal 2013 al 2022 risultano significative e positive, indicando un incremento costante del PIL pro capite, con picchi particolarmente elevati nel 2021 del 6,79% e nel 2022 del 12,3%, verosimilmente dovuti alla ripresa economica post-pandemica. L' R^2 aumenta a 0,021, indicando un miglioramento nella capacità esplicativa del modello, ma ancora non sufficiente.

Per affinare ulteriormente il modello, nella terza colonna vengono ulteriormente introdotti gli effetti fissi comunali come specificato nell'equazione (12), essi determinano un sostanziale incremento dell' R^2 fino a 0,970. In questa specificazione, l'impatto dell'UBB sul PIL pro capite si riduce ulteriormente a 0,81%, suggerendo che parte dell'effetto osservato in precedenza era attribuibile a differenze idiosincratice tra comuni. Inoltre, si osserva che i coefficienti delle variabili anno dal 2013 al 2022 presentano valori simili rispetto alla colonna precedente, mantenendo la stessa significatività a un livello di $p < 0,01$. Questo indica che l'andamento dell'effetto annuale sul logaritmo del PIL pro capite rimane stabile tra le specificazioni, con variazioni marginali nei coefficienti.

Infine, nella quarta colonna è stata aggiunta una variabile dummy per analizzare l'impatto incrementale derivante dall'implementazione della tecnologia FTTH rispetto a soluzioni FTTC in conformità con le specificazioni riportate in equazione (13). L'effetto della banda ultra larga sul PIL pro capite rimane stabile, con un incremento dello 0,88% annuo.

Tuttavia, il coefficiente associato alla FTTH è negativo e statisticamente significativo ($p < 0,05$), indicando una diminuzione del PIL pro capite dello 0,27%. Il valore R^2 è rimasto invariato confermando la capacità esplicativa di tale modello.

Tabella 10: Stime OLS impatto infrastrutture digitali sul PIL pro capite

| VARIABLES | (1) log GDP per capita | (2) log GDP per capita | (3) log GDP per capita | (4) log GDP per capita |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| dum_UBB | 0.0407*** (0.00181) | 0.0187*** (0.00217) | 0.00811*** (0.00101) | 0.00876*** (0.00101) |
| dum_FTTH | | | | -0.00269** (0.00115) |
| 2013.anno | | 0.0212*** (0.00396) | 0.0212*** (0.000454) | 0.0212*** (0.000454) |
| 2014.anno | | 0.0232*** (0.00399) | 0.0232*** (0.000567) | 0.0232*** (0.000567) |
| 2015.anno | | 0.0406*** (0.00400) | 0.0420*** (0.000674) | 0.0419*** (0.000675) |
| 2016.anno | | 0.0379*** (0.00401) | 0.0407*** (0.000807) | 0.0405*** (0.000808) |
| 2017.anno | | 0.0180*** (0.00413) | 0.0230*** (0.00100) | 0.0227*** (0.00100) |
| 2018.anno | | 0.0468*** (0.00411) | 0.0522*** (0.00109) | 0.0519*** (0.00109) |
| 2019.anno | | 0.0403*** (0.00411) | 0.0461*** (0.00120) | 0.0459*** (0.00120) |
| 2020.anno | | 0.0116*** (0.00413) | 0.0181*** (0.00133) | 0.0182*** (0.00134) |
| 2021.anno | | 0.0679*** (0.00416) | 0.0748*** (0.00138) | 0.0751*** (0.00139) |
| 2022.anno | | 0.123*** (0.00419) | 0.131*** (0.00146) | 0.131*** (0.00152) |
| Constant | 9.815*** (0.00104) | 9.784*** (0.00280) | 9.784*** (0.000586) | 9.784*** (0.000585) |
| Observations | 85,415 | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | 0.006 | 0.021 | 0.970 | 0.970 |

Robust standard errors in parentheses

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

Per approfondire il valore associato alla variabile dummy FTTH, controintuitivo rispetto alle aspettative e apparentemente non attribuibile alla collinearità con la variabile dummy UBB, avendo quest'ultima un valore di 0,412, è stata avviata un'analisi delle cause di tale effetto negativo. Si è deciso di replicare le regressioni precedenti utilizzando come variabile dipendente il logaritmo della partecipazione economica, che rappresenta il numero di persone che contribuiscono alla creazione di ricchezza nel paese. I risultati di queste analisi sono riportati in Tabella 11.

Nel modello della prima colonna, è inclusa unicamente la variabile UBB come da equazione (10), il coefficiente associato a tale variabile è pari a 1,083, risultando statisticamente significativo al livello dell'1%. Questo indica che la presenza di UBB è correlata a un incremento del logaritmo della base di popolazione economicamente attiva, contribuente al PIL, di circa il 18,3%. Tuttavia, il valore di R^2 pari a 0,137 segnala una capacità esplicativa limitata del modello.

Nel modello della colonna 2, sono stati aggiunti gli effetti fissi temporali come da equazione (11), considerando il 2012 come anno di riferimento. Rispetto al modello precedente, il coefficiente della dummy UBB aumenta a 1,568, mantenendo un impatto positivo e altamente significativo. I coefficienti relativi alle variabili annuali evidenziano una tendenza decrescente nel tempo: ad esempio, il coefficiente per l'anno 2013 è negativo ma non significativo, mentre dal 2015 in poi i coefficienti diventano significativi e mostrano valori negativi crescenti in valore assoluto, suggerendo un calo progressivo della frequenza nel tempo. L' R^2 aumenta a 0,198, migliorando la capacità esplicativa del modello.

Il modello nella colonna 3 include, oltre agli effetti fissi annuali, anche gli effetti fissi comunali (equazione 12). Il coefficiente della dummy UBB si riduce significativamente a 0,0094, pur mantenendosi significativo, anche se di entità inferiore rispetto ai modelli precedenti. Questo suggerisce che, una volta controllato per gli effetti comunali, l'impatto della UBB sulla frequenza si ridimensiona. L' R^2 è elevato, pari a 0,999, il che può essere attribuito alla presenza di numerosi effetti fissi.

Infine, nella colonna 4 viene aggiunta la variabile dummy FTTH (equazione 13). Il coefficiente di UBB scende ulteriormente a 0,00886, mantenendo la significatività statistica. Anche la variabile FTTH presenta un coefficiente positivo e significativo al livello del 10%, pari a 0,00222, suggerendo che la presenza di FTTH contribuisce positivamente alla frequenza, seppure in misura minore rispetto alla UBB. I coefficienti delle variabili annuali sono quasi identici a quelli del modello precedente, indicando un calo sistematico delle persone che contribuiscono alla generazione del PIL pro capite nel tempo. Anche qui, l' R^2 risulta pari a 0,999, confermando la capacità esplicativa del modello.

Tabella 11: Stime OLS impatto infrastrutture digitali sulla partecipazione economica

| VARIABLES | (1) log_freq | (2) log_freq | (3) log_freq | (4) log_freq |
|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| dum_UBB | 1.083*** (0.00938) | 1.568*** (0.0101) | 0.00940*** (0.000962) | 0.00886*** (0.000962) |
| dum_FTTH | | | | 0.00222* (0.00125) |
| 2013.anno | | -0.0146 (0.0222) | -0.0146*** (0.000370) | -0.0146*** (0.000370) |
| 2014.anno | | -0.0234 (0.0223) | -0.0234*** (0.000487) | -0.0234*** (0.000487) |
| 2015.anno | | -0.232*** (0.0212) | -0.0264*** (0.000591) | -0.0263*** (0.000592) |
| 2016.anno | | -0.438*** (0.0207) | -0.0220*** (0.000727) | -0.0219*** (0.000730) |
| 2017.anno | | -0.750*** (0.0206) | -0.0111*** (0.000933) | -0.0109*** (0.000936) |
| 2018.anno | | -0.797*** (0.0206) | -0.00731*** (0.00103) | -0.00709*** (0.00104) |
| 2019.anno | | -0.865*** (0.0210) | -0.00475*** (0.00112) | -0.00459*** (0.00112) |
| 2020.anno | | -0.981*** (0.0215) | -0.0212*** (0.00122) | -0.0213*** (0.00122) |
| 2021.anno | | -1.028*** (0.0218) | -0.0138*** (0.00131) | -0.0140*** (0.00132) |
| 2022.anno | | -1.100*** (0.0222) | -0.00121 (0.00140) | -0.00176 (0.00145) |
| Constant | 6.613*** (0.00547) | 7.007*** (0.0157) | 7.007*** (0.000604) | 7.007*** (0.000604) |
| Observations | 85,415 | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | 0.137 | 0.198 | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Come evidenziato nella Tabella 12, l'impatto della diretta introduzione dell'infrastruttura FTTH sul PIL e sul PIL pro capite, quando analizzati separatamente da altri fattori, risultano positivi, con coefficienti rispettivamente pari a 0,00701 e 0,0102, suggerendo che l'implementazione di questa tecnologia ha effetti economici favorevoli. Entrambi i modelli hanno una buona capacità esplicativa riportando rispettivamente i valori di R² di 0,999 e 0,970.

Tuttavia, quando si esamina l'effetto incrementale derivante dall'introduzione della tecnologia FTTH in aree già coperte da soluzioni FTTC, i risultati sono differenti. In particolare, l'impatto marginale di FTTH sul PIL risulta negativo, mentre si osserva una crescita positiva dell'occupazione. Questo suggerisce che l'introduzione di FTTH, in

contesti già dotati di soluzioni di banda larga alternative, favorisce principalmente l'occupazione, soprattutto tra i giovani e tra i lavoratori a basso reddito. Tale dinamica implica una riduzione del PIL pro capite, indicando che l'incremento dell'occupazione avviene principalmente in settori caratterizzati da retribuzioni inferiori.

Tabella 12: Stime OLS impatto diretto dell'FTTH sul PIL

| VARIABLES | (1) log_GDP | (2) log_GDP per capita |
|--------------|--------------------------|---------------------------|
| dum_FTTH | 0.00701*** (0.00156) | 0.00102 (0.00117) |
| 2013.anno | 0.00656*** (0.000463) | 0.0212*** (0.000454) |
| 2014.anno | -0.000237 (0.000609) | 0.0232*** (0.000567) |
| 2015.anno | 0.0179*** (0.000742) | 0.0431*** (0.000644) |
| 2016.anno | 0.0233*** (0.000852) | 0.0428*** (0.000707) |
| 2017.anno | 0.0201*** (0.000993) | 0.0268*** (0.000772) |
| 2018.anno | 0.0536*** (0.00109) | 0.0563*** (0.000826) |
| 2019.anno | 0.0506*** (0.00121) | 0.0505*** (0.000910) |
| 2020.anno | 0.00637*** (0.00135) | 0.0229*** (0.00106) |
| 2021.anno | 0.0708*** (0.00147) | 0.0799*** (0.00110) |
| 2022.anno | 0.139*** (0.00167) | 0.136*** (0.00125) |
| Constant | 16.79*** (0.000785) | 9.784*** (0.000587) |
| Observations | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | 0.999 | 0.970 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Per approfondire l'analisi del coefficiente negativo associato alla variabile FTTH, è stata condotta un'analisi differenziata tra aree bianche e non bianche tenendo in considerazione effetti fissi annuali e comunali, i cui risultati sono riportati nella Tabella 13. Nella colonna (1), dedicata alle aree bianche, emerge che la variabile dummy per le tecnologie UBB ha un impatto positivo e significativo sul PIL, con un coefficiente pari a

0,0136 e un livello di significatività di $p < 0,01$. Tuttavia, la dummy FTTH mostra un coefficiente negativo (-0,00423), anch'esso statisticamente significativo al livello di $p < 0,05$. Questo risultato suggerisce che, nelle aree bianche, l'adozione della tecnologia FTTH potrebbe contribuire al PIL in misura inferiore rispetto alle attese. Nelle aree non bianche, analizzate in colonna (2), l'impatto della dummy UBB risulta positivo e superiore rispetto a quello osservato nelle aree bianche, con un coefficiente di 0,0230 e un livello di significatività di $p < 0,01$. Al contrario, la dummy FTTH presenta un coefficiente positivo pari a 0,0185, significativo a $p < 0,01$, in netta contrapposizione con il valore negativo rilevato nelle aree bianche. Questi risultati suggeriscono che l'implementazione della tecnologia FTTH nelle aree non bianche contribuisce positivamente alla crescita del PIL. I coefficienti delle variabili temporali nelle due colonne indicano tendenze analoghe, con alcune variazioni significative tra gli anni. In generale, gli effetti annuali sono positivi e statisticamente significativi, ad eccezione degli anni 2014 e 2020, che mostrano variazioni non significative o negative. Infine, a entrambe le colonne sono associati valori R^2 elevati indicando una buona capacità esplicativa del modello.

Tabella 13: Stime OLS impatto FTTH differenziato tra aree bianche e non bianche

| VARIABLES | (1) log_GDP aree bianche | (2) log_GDP aree non bianche |
|--------------|--------------------------------|------------------------------------|
| dum_UBB | 0.0136*** (0.00165) | 0.0230*** (0.00206) |
| dum_FTTH | -0.00423** (0.00208) | 0.0185*** (0.00213) |
| 2013.anno | 0.00549*** (0.000697) | 0.00753*** (0.000616) |
| 2014.anno | -0.00147 (0.000900) | 0.000886 (0.000827) |
| 2015.anno | 0.0155*** (0.00116) | 0.0153*** (0.00108) |
| 2016.anno | 0.0172*** (0.00142) | 0.0191*** (0.00138) |
| 2017.anno | 0.00967*** (0.00176) | 0.0122*** (0.00193) |
| 2018.anno | 0.0431*** (0.00192) | 0.0444*** (0.00216) |
| 2019.anno | 0.0403*** (0.00203) | 0.0402*** (0.00244) |
| 2020.anno | -0.00180 (0.00225) | -0.00534** (0.00257) |
| 2021.anno | 0.0620*** (0.00251) | 0.0599*** (0.00267) |
| 2022.anno | 0.129*** (0.00288) | 0.128*** (0.00286) |
| Constant | 16.54*** (0.00113) | 17.02*** (0.00108) |
| Observations | 40,744 | 44,671 |
| R-squared | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

L'analisi è stata estesa anche al PIL pro capite, i cui risultati sono riportati nella Tabella 14. Nelle aree bianche presentate in colonna 1, il coefficiente associato alla variabile dummy UBB risulta pari a 0,00833, con un livello di significatività molto elevato ($p < 0,01$). Questo coefficiente positivo suggerisce che la presenza delle tecnologie UBB contribuisce in modo rilevante al PIL pro capite nelle aree bianche, evidenziando il potenziale di tali infrastrutture nel supportare la crescita economica in contesti caratterizzati da minori risorse digitali. Il coefficiente della dummy FTTH nelle stesse aree è negativo (-0,00400) e significativo ($p < 0,05$), indicando un effetto controintuitivo in cui l'implementazione della tecnologia FTTH potrebbe non garantire i benefici economici attesi o, in alcuni casi, essere

associata a una lieve riduzione del PIL pro capite rispetto a tecnologie FTTC. Questa dinamica potrebbe riflettere una fase di iniziale implementazione, in cui i costi di investimento per la fibra ottica non si sono ancora tradotti in piena crescita economica, o potrebbe essere influenzata da particolari condizioni socioeconomiche delle aree bianche. Nelle aree non bianche, riportate in colonna 2, il coefficiente della dummy UBB è pari a 0,00913, leggermente superiore a quello riscontrato nelle aree bianche, e mantiene un elevato livello di significatività ($p < 0,01$). Questo suggerisce un effetto positivo e significativo della tecnologia UBB sul PIL pro capite, con un impatto più marcato rispetto alle aree bianche. Anche nelle aree non bianche, il coefficiente della dummy FTTH è negativo e significativo (-0,00542 e $p < 0,01$), confermando la tendenza osservata nelle aree bianche.

Per quanto riguarda gli effetti fissi annuali, essi mostrano andamenti simili tra le due colonne, con coefficienti generalmente positivi e altamente significativi.

Il valore elevato di R^2 , pari a 0,969 e 0,971 rispettivamente nelle due colonne, indica una buona capacità esplicativa del modello.

Tabella 14: Stime OLS impatto FTTH differenziato tra aree bianche e non bianche

| VARIABLES | (1) | (2) |
|--------------|------------------------------------|--|
| | log_GDP_per_capita aree bianche | log_GDP_per_capita aree non bianche |
| dum_UBB | 0.00833*** (0.00135) | 0.00913*** (0.00154) |
| dum_FTTH | -0.00400** (0.00162) | -0.00542*** (0.00151) |
| 2013.anno | 0.0205*** (0.000684) | 0.0218*** (0.000604) |
| 2014.anno | 0.0235*** (0.000834) | 0.0229*** (0.000772) |
| 2015.anno | 0.0424*** (0.00101) | 0.0414*** (0.000907) |
| 2016.anno | 0.0409*** (0.00120) | 0.0401*** (0.00111) |
| 2017.anno | 0.0228*** (0.00142) | 0.0227*** (0.00146) |
| 2018.anno | 0.0530*** (0.00154) | 0.0510*** (0.00160) |
| 2019.anno | 0.0479*** (0.00162) | 0.0443*** (0.00181) |
| 2020.anno | 0.0216*** (0.00184) | 0.0156*** (0.00196) |
| 2021.anno | 0.0787*** (0.00203) | 0.0725*** (0.00195) |
| 2022.anno | 0.134*** (0.00228) | 0.130*** (0.00211) |
| Constant | 9.762*** (0.000876) | 9.803*** (0.000784) |
| Observations | 40,744 | 44,671 |
| R-squared | 0.969 | 0.971 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Per comprendere meglio i coefficienti associati alla variabile dummy FTTH, è necessario approfondire le stime econometriche del logaritmo del numero di persone che contribuiscono alla generazione del PIL, i cui risultati sono riportati nella Tabella 15.

Nelle aree bianche, riportate nella colonna 1, il coefficiente della variabile dummy UBB è pari a 0,00532, con un alto livello di significatività ($p < 0,01$). Questo coefficiente positivo suggerisce che l'adozione di tecnologie UBB è correlata a un lieve aumento della popolazione economicamente attiva, probabilmente grazie alla maggiore accessibilità delle infrastrutture digitali, che incentiva la partecipazione economica anche in aree meno dotate di risorse digitali.

Il coefficiente della dummy FTTH in queste aree risulta invece negativo e non significativo, indicando che, in questo contesto, l'implementazione di FTTH non ha un effetto statisticamente rilevante sul numero di persone partecipanti alla generazione del PIL. Quindi, il segno negativo della variabile FTTH in Tabella 13 indica che l'adozione della tecnologia FTTH rispetto a FTTC è associata a una riduzione del PIL pro capite di conseguenza si riduce la ricchezza generata da ogni individuo tuttavia non è possibile affermare con certezza quale è l'impatto sul numero di persone che contribuiscono a generale il PIL, essendo tale variabile non statisticamente significativa. Questo suggerisce che nelle aree bianche l'introduzione di FTTH non ha ancora avuto un impatto positivo significativo sulla crescita economica sia a livello aggregato sia a livello pro-capite. Tuttavia, è necessaria un'analisi più approfondita dell'effetto specifico di FTTH, considerando che solo un numero limitato di comuni ha effettuato il passaggio da FTTC a FTTH, mentre la maggior parte ha implementato direttamente soluzioni FTTH.

Nelle aree non bianche, analizzate in colonna 2, il coefficiente della dummy UBB è pari a 0,0139, anch'esso significativo ($p < 0,01$) e di valore più elevato rispetto alle aree bianche, indicando che la presenza di UBB in queste aree ha un effetto positivo più marcato sul numero di persone economicamente attive, riflettendo una maggiore influenza nelle zone con una più sviluppata infrastruttura digitale. Il coefficiente della dummy FTTH è positivo e significativo, in netto contrasto con le aree bianche, suggerendo che nelle aree non bianche l'implementazione di FTTH è associata a un incremento del numero di persone coinvolte nell'economia locale. Questo risultato evidenzia che nelle aree non bianche, l'impatto incrementale dell'adozione di FTTH rispetto a FTTC è positivo per la crescita economica. In particolare, si osserva un aumento a livello aggregato del PIL, dovuto principalmente all'aumento della partecipazione economica tuttavia l'impatto generato sulla ricchezza pro capite è negativo, tale situazione evidenzia che l'introduzione della FTTH nelle aree non bianche genera posti di lavoro per lavoratori giovani oppure aumenta le opportunità lavorative a basso reddito.

Tabella 15: Stime OLS impatto FTTH differenziato tra aree bianche e non bianche

| VARIABLES | (1) log_freq aree bianche | (2) log_freq aree non bianche |
|--------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| dum_UBB | 0.00532*** (0.00128) | 0.0139*** (0.00147) |
| dum_FTTH | -0.000230 (0.00170) | 0.0240*** (0.00165) |
| 2013.anno | -0.0150*** (0.000591) | -0.0143*** (0.000457) |
| 2014.anno | -0.0250*** (0.000706) | -0.0221*** (0.000673) |
| 2015.anno | -0.0269*** (0.000857) | -0.0261*** (0.000823) |
| 2016.anno | -0.0238*** (0.00104) | -0.0210*** (0.00104) |
| 2017.anno | -0.0132*** (0.00131) | -0.0105*** (0.00137) |
| 2018.anno | -0.00992*** (0.00147) | -0.00662*** (0.00151) |
| 2019.anno | -0.00763*** (0.00156) | -0.00409** (0.00167) |
| 2020.anno | -0.0234*** (0.00174) | -0.0209*** (0.00175) |
| 2021.anno | -0.0166*** (0.00193) | -0.0126*** (0.00184) |
| 2022.anno | -0.00532** (0.00219) | -0.00167 (0.00200) |
| Constant | 6.775*** (0.000884) | 7.218*** (0.000816) |
| Observations | 40,744 | 44,671 |
| R-squared | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Come anticipato, risulta necessario analizzare l'impatto dell'implementazione diretta della tecnologia FTTH nelle aree bianche, dato che solo una minoranza di comuni ha effettuato l'*upgrade* da FTTC a FTTH. Le stime econometriche relative a questo aspetto sono riportate in Tabella 16, esse incorporano effetti fissi annuali e comunali.

La prima colonna esamina l'effetto delle variabili indipendenti sul logaritmo del PIL totale. Il coefficiente della variabile FTTH è positivo, ma non significativo, suggerendo che la disponibilità di infrastrutture FTTH non ha un impatto statisticamente rilevante sul PIL aggregato. Al contrario, i coefficienti temporali mostrano un trend in crescita significativa del PIL tra il 2013 e il 2022, con il valore massimo registrato nel 2022, evidenziando una

fase di espansione economica probabilmente associata a cambiamenti strutturali di rilievo. L' R^2 della colonna, molto vicino a 1, indica che il modello spiega quasi completamente la variabilità della variabile \log_GDP , confermando l'elevata capacità delle variabili esplicative di descrivere la variazione del PIL complessivo.

La seconda colonna riporta l'effetto delle variabili indipendenti sul logaritmo del PIL pro capite. Anche in questo caso il coefficiente della variabile FTTH è positivo, ma non significativo, suggerendo che FTTH non ha un impatto rilevante sul PIL pro capite. In parallelo a quanto osservato per il PIL aggregato, i coefficienti temporali evidenziano una crescita significativa del PIL pro capite, con aumenti marcati negli anni 2020 e 2021. Nel 2022, l'incremento raggiunge il suo picco, suggerendo un miglioramento della ricchezza pro capite, potenzialmente attribuibile a condizioni economiche favorevoli. Anche in questo caso, l' R^2 , seppur leggermente inferiore rispetto alla colonna 1, è elevato, evidenziando la buona capacità esplicativa del modello.

La terza colonna analizza invece l'effetto delle variabili indipendenti sul logaritmo della frequenza, una misura della partecipazione economica complessiva. La variabile FTTH ha nuovamente un coefficiente positivo, ma non significativo, suggerendo che l'implementazione di FTTH non è associata a cambiamenti significativi nella frequenza di attività economiche. I coefficienti temporali, quasi tutti negativi e statisticamente significativi, indicano una riduzione della partecipazione economica nel periodo considerato, con un'eccezione nel 2022, dove il coefficiente risulta non significativo. Anche qui, un R^2 molto vicino a 1 sottolinea che il modello spiega quasi tutta la variabilità di \log_freq .

L'assenza di significatività statistica della variabile FTTH nei tre modelli econometrici suggerisce che gli effetti economici positivi associati all'implementazione della tecnologia FTTH possano necessitare di un tempo di latenza più prolungato per emergere in modo evidente. Tale risultato è coerente con il fatto che la diffusione dell'infrastruttura FTTH in Italia è iniziata solo a partire dal 2017, il che implica che i benefici economici legati alla connettività avanzata e alle capacità offerte dalla banda ultra-larga richiedono tempo per produrre impatti tangibili nelle diverse realtà territoriali. In aggiunta, il limitato impatto di FTTH è attribuibile alle caratteristiche peculiari delle aree bianche, ossia territori nei quali gli operatori privati non hanno incentivo sufficiente a sviluppare infrastrutture digitali avanzate a causa delle condizioni socioeconomiche e geografiche sfavorevoli. Questi

territori includono spesso comuni rurali e montani, collocati in aree con bassa densità abitativa e difficili da raggiungere logisticamente per via della conformazione geografica caratterizzata da montagne, colline o estese zone agricole. Tali elementi aumentano significativamente i costi di installazione e manutenzione delle infrastrutture, riducendo di conseguenza la redditività per gli operatori privati e rendendo difficoltosa la diffusione della tecnologia FTTH in modo capillare. Allo stesso modo, i piccoli centri abitati, soprattutto nelle regioni del Sud Italia e nelle isole, presentano una domanda limitata e frammentata di servizi digitali avanzati. La bassa densità di popolazione combinata con una ridotta richiesta di connettività avanzata rappresenta una condizione che scoraggia ulteriormente gli investimenti privati, poiché questi comuni offrono un ritorno sugli investimenti non sufficiente a coprire i costi elevati associati all'implementazione della banda ultra-larga. Infine, nelle aree caratterizzate da scarsa industrializzazione e da una limitata integrazione digitale nel tessuto economico, la domanda di infrastrutture digitali avanzate è ulteriormente ridotta. La presenza esigua di imprese con elevate necessità di connessione non incentiva lo sviluppo delle reti FTTH, poiché in questi comuni la base di utenti non è considerata sufficiente per giustificare l'investimento in tecnologie di ultima generazione.

Tabella 16: Stime OLS impatto diretto implementazione FTTH nelle aree bianche

| VARIABLES | (1) log_GDP | (2) log_GDP_per_capita | (3) log_freq |
|--------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| dum_FTTH | 0.00307 (0.00207) | 0.000458 (0.00160) | 0.00261 (0.00165) |
| 2013.anno | 0.00549*** (0.000697) | 0.0205*** (0.000684) | -0.0150*** (0.000591) |
| 2014.anno | -0.00147 (0.000900) | 0.0235*** (0.000834) | -0.0250*** (0.000706) |
| 2015.anno | 0.0170*** (0.00111) | 0.0433*** (0.000972) | -0.0263*** (0.000827) |
| 2016.anno | 0.0202*** (0.00130) | 0.0428*** (0.00108) | -0.0226*** (0.000960) |
| 2017.anno | 0.0155*** (0.00145) | 0.0264*** (0.00115) | -0.0109*** (0.00109) |
| 2018.anno | 0.0492*** (0.00159) | 0.0567*** (0.00123) | -0.00752*** (0.00123) |
| 2019.anno | 0.0466*** (0.00168) | 0.0518*** (0.00131) | -0.00517*** (0.00131) |
| 2020.anno | 0.00459** (0.00192) | 0.0255*** (0.00156) | -0.0209*** (0.00150) |
| 2021.anno | 0.0685*** (0.00218) | 0.0826*** (0.00174) | -0.0141*** (0.00171) |
| 2022.anno | 0.135*** (0.00257) | 0.138*** (0.00203) | -0.00284 (0.00199) |
| Constant | 16.54*** (0.00113) | 9.762*** (0.000877) | 6.775*** (0.000886) |
| Observations | 40,744 | 40,744 | 40,744 |
| R-squared | 0.999 | 0.969 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Successivamente si è indagato l'impatto dell'introduzione della tecnologia UBB a livello macro regionale per determinare eventuali differenze significative tra le diverse aree geografiche. In un primo momento, l'analisi si è concentrata sull'effetto della UBB sul PIL, tenendo conto degli effetti fissi comunali e temporali come specificato nell'equazione (12). I principali risultati sono riportati in Tabella 17.

Il coefficiente della variabile UBB, che rappresenta la presenza della banda larga ultra, mostra un impatto positivo e statisticamente significativo sul PIL in tutte le macroaree, con alcune differenze regionali. In particolare, nel Nord-Est riportato nella prima colonna, l'adozione della banda ultra larga è associata a un incremento del PIL pari allo 0,576%. Nella macroregione del Nord-Ovest esaminata nella seconda colonna, si osserva l'effetto più marcato, con un aumento del PIL del 2,65%, suggerendo che quest'area beneficia

maggiormente dall'infrastruttura digitale. Nel Centro Italia, presente nella terza colonna, l'introduzione della UBB è correlata a una crescita del PIL dello 0,965%, mentre nel Sud e nelle Isole, indicati nella quarta colonna, l'aumento del PIL è dello 0,967%.

Questi risultati evidenziano come l'impatto della banda ultra larga vari significativamente tra le regioni, risultando più forte nel Nord-Ovest, probabilmente a causa di una maggiore maturità economica e una maggiore capacità delle imprese e dei consumatori di sfruttare le tecnologie digitali. Tale constatazione è in linea con l'analisi effettuata nel terzo capitolo (Figura 20). Le differenze tra le altre aree possono essere attribuite a disparità nell'infrastruttura economica e tecnologica, così come alla diversa propensione all'innovazione tecnologica e alla digitalizzazione. Per quanto riguarda le variabili annuali relative alle quattro macro aree esaminate, si osserva che in generale i coefficienti risultano essere positivi e statisticamente significativi. Tuttavia, è presente un'eccezione nell'anno 2020, in cui, per il Nord-Ovest, il Centro e il Sud e le Isole, si stima un impatto negativo sul PIL. Questo impatto negativo può essere attribuito principalmente agli effetti della recessione economica provocata dalla pandemia di COVID-19, che ha avuto un impatto devastante sull'economia globale e nazionale. Nonostante l'anno 2020 rappresenti un'eccezione, l'analisi degli impatti annuali suggerisce una tendenza di crescita nel tempo, in particolare per l'ultimo anno analizzato. In tutte e quattro le macro aree, l'impatto annuale risulta essere più marcato nell'anno finale, indicando una ripresa e una potenziale crescita economica sostenibile dopo la crisi. Inoltre, la crescita maggiore nell'ultimo anno potrebbe suggerire che le regioni si stanno adattando alle nuove dinamiche economiche, con un incremento dell'efficienza e della produttività.

L' R^2 è estremamente elevato (0,999) in tutte le regressioni, suggerendo che il modello spiega quasi interamente la varianza del PIL tra i comuni.

Tabella 17: Stime OLS impatto UBB sul PIL a livello macro regionale

| VARIABLES | (1) log_GDP Nord-Est | (2) log_GDP Nord-Ovest | (3) log_GDP Centro | (4) log_GDP Sud/Isole |
|--------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| dum_UBB | 0.00576*** (0.00213) | 0.0265*** (0.00239) | 0.00965*** (0.00312) | 0.00967*** (0.00209) |
| 2013.anno | 0.0173*** (0.000731) | 0.00872*** (0.000829) | 0.00158 (0.00122) | 0.000284 (0.000824) |
| 2014.anno | 0.0189*** (0.000976) | 0.00488*** (0.00110) | -0.00495*** (0.00149) | -0.0144*** (0.00105) |
| 2015.anno | 0.0385*** (0.00125) | 0.0190*** (0.00137) | 0.00498*** (0.00183) | 0.00631*** (0.00146) |
| 2016.anno | 0.0508*** (0.00176) | 0.0179*** (0.00161) | 0.00562** (0.00266) | 0.0117*** (0.00175) |
| 2017.anno | 0.0618*** (0.00239) | 0.0106*** (0.00210) | 0.00460 (0.00325) | -0.00429** (0.00218) |
| 2018.anno | 0.0992*** (0.00255) | 0.0409*** (0.00241) | 0.0413*** (0.00352) | 0.0280*** (0.00233) |
| 2019.anno | 0.104*** (0.00277) | 0.0331*** (0.00266) | 0.0395*** (0.00375) | 0.0253*** (0.00254) |
| 2020.anno | 0.0565*** (0.00292) | -0.0169*** (0.00291) | -0.00435 (0.00387) | -0.0108*** (0.00281) |
| 2021.anno | 0.121*** (0.00313) | 0.0473*** (0.00312) | 0.0639*** (0.00425) | 0.0516*** (0.00298) |
| 2022.anno | 0.191*** (0.00328) | 0.109*** (0.00337) | 0.132*** (0.00447) | 0.127*** (0.00314) |
| Constant | 17.43*** (0.00138) | 16.60*** (0.00136) | 17.13*** (0.00186) | 16.55*** (0.00135) |
| Observations | 14,652 | 32,318 | 10,439 | 28,006 |
| R-squared | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

In seguito l'analisi si è focalizzata sul PIL pro capite, i cui risultati sono riportati nella Tabella 18, con una chiara differenziazione tra le macroaree considerate.

I risultati relativi al Nord-Est, presentati in colonna 1, mostrano che l'effetto della UBB è positivo, ma non statisticamente significativo, suggerendo che la banda larga non ha avuto un impatto rilevante sul PIL pro capite in questa regione. Analizzando le variabili temporali, emerge un chiaro trend positivo di crescita che si estende dal 2013 al 2022. In particolare, l'ultimo anno analizzato mostra un impatto significativamente maggiore rispetto agli anni precedenti, suggerendo una ripresa economica in accelerazione. Questo aumento nell'anno finale può essere interpretato come un segnale positivo, indicando che le forze economiche e strutturali stanno diventando più favorevoli. Inoltre, è importante sottolineare che tale picco registrato è nettamente superiore rispetto ai livelli

di crescita riportati nelle altre macro aree nello stesso anno. Il modello presenta un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0,949, indicando una buona capacità esplicativa del modello, con la maggior parte della variabilità del PIL spiegata dagli effetti fissi comunali e annuali.

Per quanto riguarda il Nord-Ovest, analizzato in colonna 2, l'effetto della UBB risulta positivo e altamente significativo ($p < 0,01$), evidenziando un impatto sostanziale della banda larga sul PIL pro capite. I dati temporali mostrano un aumento marcato del PIL dal 2013 al 2022, con un picco nel 2022, e una lieve flessione nel 2020 (coefficiente di -0,00391), presumibilmente a causa degli effetti generati dalla pandemia da COVID-19. È importante sottolineare che, sebbene in tutte le altre macro aree l'impatto sia diminuito nel 2020, l'unica area in cui si è registrato un impatto negativo durante quell'anno è stata proprio il Nord-Ovest. Questo risultato è probabilmente il riflesso degli effetti devastanti della pandemia di COVID-19, che ha avuto un impatto disomogeneo a livello territoriale. Mentre in altre regioni l'impatto economico negativo è stato contenuto o ha mostrato solo una riduzione rispetto agli anni precedenti, in questa area si è verificata una contrazione più marcata, probabilmente a causa di fattori locali specifici o della maggiore esposizione a settori più vulnerabili alla crisi sanitaria ed economica. Per quanto riguarda l' R^2 di 0,932, esso seppur leggermente inferiore rispetto al Nord-Est, conferma comunque un modello ben calibrato.

Nel Centro Italia, esaminato in colonna 3, l'impatto della UBB è positivo (0,00191), ma non statisticamente significativo, suggerendo un'influenza trascurabile della tecnologia sul PIL pro capite. Le variabili temporali mostrano una crescita continua, con un incremento massimo nel 2022 (coefficiente di 0,125) suggerendo che i comuni di questa area stiano entrando in una fase di espansione economica. Inoltre, il modello presenta un R^2 di 0,938, che indica una buona capacità esplicativa.

Nel Sud e nelle Isole, rappresentate nella colonna 4, l'effetto della UBB è positivo e marginalmente significativo (0,00203), indicando un impatto contenuto ma comunque positivo sul PIL pro capite in queste regioni. Come nelle altre macroaree, si rileva una solida crescita del PIL durante gli anni analizzati, con una leggera flessione nel periodo legato all'emergenza sanitaria, seguita da un forte recupero che culmina nel 2022, con un incremento significativo (0,154). Questo picco nel 2022 suggerisce una ripresa economica

particolarmente marcata, nonostante gli ostacoli iniziali legati alla pandemia. Il valore di R^2 di 0,942 conferma che il modello spiega bene la variabilità del PIL pro capite.

In sintesi, l'analisi evidenzia un impatto significativo della UBB sul PIL pro capite nel Nord-Ovest, mentre nelle altre aree l'effetto risulta non significativo.

Tabella 18: Stime OLS impatto UBB sul PIL pro capite a livello macro regionale

| VARIABLES | (1) log_GDP_per _capita Nord-Est | (2) log_GDP_per _capita Nord-Ovest | (3) log_GDP_per_ capita Centro | (4) log_GDP_per_ capita Sud/Isole |
|--------------|---|---|---|--|
| dum_UBB | 0.000313 (0.00167) | 0.0107*** (0.00183) | 0.00191 (0.00247) | 0.00203 (0.00151) |
| 2013.anno | 0.0251*** (0.000904) | 0.0230*** (0.000807) | 0.0160*** (0.00110) | 0.0190*** (0.000806) |
| 2014.anno | 0.0308*** (0.000920) | 0.0234*** (0.00111) | 0.0204*** (0.00125) | 0.0200*** (0.000942) |
| 2015.anno | 0.0544*** (0.00107) | 0.0439*** (0.00124) | 0.0335*** (0.00150) | 0.0386*** (0.00123) |
| 2016.anno | 0.0619*** (0.00134) | 0.0372*** (0.00139) | 0.0315*** (0.00215) | 0.0408*** (0.00141) |
| 2017.anno | 0.0578*** (0.00185) | 0.0188*** (0.00167) | 0.0140*** (0.00258) | 0.0188*** (0.00165) |
| 2018.anno | 0.0833*** (0.00185) | 0.0432*** (0.00192) | 0.0444*** (0.00274) | 0.0552*** (0.00172) |
| 2019.anno | 0.0836*** (0.00194) | 0.0309*** (0.00210) | 0.0413*** (0.00288) | 0.0527*** (0.00187) |
| 2020.anno | 0.0526*** (0.00216) | -0.00391* (0.00232) | 0.0112*** (0.00310) | 0.0354*** (0.00209) |
| 2021.anno | 0.109*** (0.00224) | 0.0530*** (0.00243) | 0.0702*** (0.00336) | 0.0918*** (0.00209) |
| 2022.anno | 0.165*** (0.00244) | 0.104*** (0.00259) | 0.125*** (0.00348) | 0.154*** (0.00215) |
| Constant | 9.921*** (0.000990) | 9.943*** (0.00108) | 9.785*** (0.00145) | 9.527*** (0.000963) |
| Observations | 14,652 | 32,318 | 10,439 | 28,006 |
| R-squared | 0.949 | 0.932 | 0.938 | 0.942 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Per concludere l'analisi dell'impatto della UBB sulla crescita economica, è stata condotta un'analisi econometrica incentrata sul numero di individui che contribuiscono alla generazione del Prodotto Interno Lordo, come riportato nella Tabella 19.

Nella Colonna 1, relativa alla macroarea del Nord-Est, i risultati mostrano un effetto positivo e significativo della UBB sulla frequenza logaritmica. Per quanto riguarda gli

effetti temporali, si osserva che negli anni 2013-2016 la frequenza logaritmica registra un calo continuo, con coefficienti negativi. A partire dal 2017, si verifica una inversione di tendenza, con un progressivo aumento fino al 2022. Questo suggerisce che l'accesso alla banda ultralarga ha contribuito a stimolare un recupero della partecipazione economica nella regione, in particolare negli anni più recenti.

Nella Colonna 2, relativa al Nord-Ovest, l'effetto della banda ultralarga è superiore rispetto al Nord-Est. Tuttavia, l'analisi degli effetti temporali evidenzia un calo più accentuato dal 2013 al 2016. Anche dopo il 2017, i coefficienti rimangono prevalentemente negativi, con l'unica eccezione nel 2022. Ciò implica che, sebbene l'effetto della banda ultralarga sia positivo, la persistente tendenza negativa suggerisce che il Nord-Ovest possa aver incontrato difficoltà nel mantenere una crescita stabile della partecipazione economica.

Nella Colonna 3, relativa al Centro Italia, la variabile UBB presenta un coefficiente positivo e significativo, con un effetto intermedio rispetto al Nord-Est e al Nord-Ovest. L'analisi temporale evidenzia una tendenza decrescente dal 2013 al 2016, seguita da una stabilizzazione, con coefficienti meno negativi rispetto alle altre aree. Questo suggerisce che il Centro Italia ha registrato una diminuzione iniziale, seguita da una stabilizzazione nella partecipazione economica.

Infine, nella Colonna 4, relativa al Sud e alle Isole, l'effetto della banda ultralarga è positivo e significativo, simile a quello osservato nel Centro Italia. Tuttavia, l'analisi degli effetti temporali mostra che i coefficienti sono prevalentemente negativi, in particolare dal 2018 al 2021, con un'inversione solo nel 2022. Ciò indica che, nonostante l'effetto positivo della banda ultralarga, il Sud e le Isole continuano a manifestare una tendenza negativa persistente nel tempo, suggerendo la presenza di possibili barriere infrastrutturali o economiche che limitano l'impatto delle ICT sulla crescita della partecipazione economica.

In conclusione, si può affermare che l'introduzione della banda ultralarga ha avuto un impatto positivo sulla crescita economica in tutte le macroregioni analizzate. Questo effetto positivo è attribuibile sia a un incremento della ricchezza pro capite, sia a un aumento della partecipazione economica.

Tabella 19: Stime OLS impatto UBB sulla partecipazione economica a livello macro regionale

| VARIABLES | (1) log_freq Nord-Est | (2) log_freq Nord-Ovest | (3) log_freq Centro | (4) log_freq Sud/Isole |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| dum_UBB | 0.00545*** (0.00171) | 0.0158*** (0.00163) | 0.00774*** (0.00234) | 0.00764*** (0.00169) |
| 2013.anno | -0.00777*** (0.000984) | -0.0143*** (0.000589) | -0.0144*** (0.000932) | -0.0187*** (0.000637) |
| 2014.anno | -0.0119*** (0.000821) | -0.0185*** (0.000878) | -0.0254*** (0.00116) | -0.0344*** (0.000849) |
| 2015.anno | -0.0159*** (0.00104) | -0.0248*** (0.00101) | -0.0285*** (0.00151) | -0.0323*** (0.00113) |
| 2016.anno | -0.0111*** (0.00131) | -0.0193*** (0.00118) | -0.0259*** (0.00197) | -0.0291*** (0.00140) |
| 2017.anno | 0.00396** (0.00182) | -0.00818*** (0.00150) | -0.00940*** (0.00248) | -0.0231*** (0.00172) |
| 2018.anno | 0.0159*** (0.00189) | -0.00232 (0.00166) | -0.00307 (0.00267) | -0.0271*** (0.00192) |
| 2019.anno | 0.0208*** (0.00205) | 0.00218 (0.00178) | -0.00178 (0.00284) | -0.0274*** (0.00213) |
| 2020.anno | 0.00389* (0.00224) | -0.0130*** (0.00195) | -0.0156*** (0.00306) | -0.0463*** (0.00225) |
| 2021.anno | 0.0126*** (0.00240) | -0.00568*** (0.00210) | -0.00631* (0.00325) | -0.0402*** (0.00242) |
| 2022.anno | 0.0267*** (0.00256) | 0.00582** (0.00228) | 0.00720** (0.00347) | -0.0277*** (0.00258) |
| Constant | 7.508*** (0.00114) | 6.657*** (0.000979) | 7.344*** (0.00149) | 7.022*** (0.00113) |
| Observations | 14,652 | 32,318 | 10,439 | 28,006 |
| R-squared | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Le analisi condotte precedentemente sono stata ampliate includendo la variabile FTTH, come specificato nell'equazione (13), per andare indagare l'impatto incrementale derivante dall'impetrazioni di soluzioni FTTH rispetto a FTTC.

I risultati relativi all'impatto sul valore aggregato del PIL sono riportati nella Tabella 20.

Il coefficiente associato alla banda ultra larga mantiene una rilevanza positiva e significativa in tutte le macroregioni, mostrando variazioni minime rispetto all'analisi precedente. Nel Nord-Est, il coefficiente di UBB è pari a 0,778%, registrando un incremento rispetto al valore di 0,576% ottenuto in precedenza. Analogamente, nel Nord-Ovest, l'impatto della UBB si attesta al 2,83%, in aumento rispetto al 2,65% dell'analisi precedente. Nel Centro, il coefficiente UBB è di 1,01%, confermandosi quasi identico al

0,965% precedente, mentre nel Sud e Isole, il valore si posiziona a 0,941%, leggermente inferiore rispetto al dato di 0,967% ottenuto in precedenza. Questi risultati evidenziano che la banda ultra larga continua a esercitare un effetto positivo e significativo sul PIL in tutte le macroaree, con un impatto più accentuato nel Nord-Ovest.

L'inclusione della variabile FTTH ha portato a risultati di particolare interesse. Nel Nord-Est, il coefficiente per FTTH si attesta a -0,747%, risultando significativo al livello dell'1%. Questo risultato suggerisce che, contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, la presenza della fibra ottica ha un effetto incrementale negativo sul PIL, sebbene di entità contenuta. Anche nel Nord-Ovest, l'effetto della FTTH è negativo, con un valore di -0,650%, significativo al livello del 5%. Questo indica una dinamica analoga a quella osservata nel Nord-Est, pur con un impatto meno marcato. Nel Centro, il coefficiente per FTTH è -0,192%, sebbene non significativo, suggerendo che l'effetto della fibra ottica non è rilevante in quest'area. Al contrario, nel Sud e Isole, il coefficiente per FTTH è positivo, sebbene non significativo, attestandosi a 0,133%, indicando una tendenza all'incremento, sebbene senza rilevanza statistica.

Tali risultati possono essere attribuiti a diversi fattori. In primo luogo è plausibile che l'implementazione della fibra ottica in molte di queste regioni sia ancora in fase iniziale, pertanto i benefici economici potenziali non siano ancora stati completamente realizzati. Inoltre, l'adozione di tecnologie avanzate come la FTTH può richiedere un tempo considerevole per manifestare i propri vantaggi, specialmente in contesti caratterizzati da infrastrutture complementari o competenze tecnologiche insufficienti. In aggiunta, è probabile che in queste quattro macroaree vi sia una preponderanza di aree bianche, dove l'implementazione delle tecnologie FTTH risulta difficoltosa, influenzando negativamente i risultati a livello aggregato.

L'inclusione della variabile FTTH ha quindi rivelato risultati inattesi, con un impatto negativo e significativo sul PIL nelle regioni del Nord-Est e Nord-Ovest. Questo fenomeno suggerisce che la disponibilità di infrastrutture avanzate come la fibra ottica secondo la configurazione FTTH, non porta automaticamente ad un aumento della crescita economica, verosimilmente a causa di ritardi nell'adozione o di barriere strutturali che ostacolano un uso efficiente di tali tecnologie. In conclusione, sebbene la banda ultra larga continui a mostrare un impatto positivo e significativo sul PIL in tutte le macroregioni, la fibra ottica FTTH presenta dinamiche incrementali più complesse.

Tabella 20: Stime OLS impatto UBB e FTTH sul PIL a livello macro regionale

| VARIABLES | (1) log_GDP Nord-Est | (2) log_GDP Nord-Ovest | (3) log_GDP Centro | (4) log_GDP Sud/Isole |
|--------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| dum_UBB | 0.00778*** (0.00216) | 0.0283*** (0.00241) | 0.0101*** (0.00318) | 0.00941*** (0.00206) |
| dum_FTTH | -0.00747*** (0.00278) | -0.00650** (0.00276) | -0.00192 (0.00354) | 0.00133 (0.00295) |
| 2013.anno | 0.0173*** (0.000731) | 0.00872*** (0.000829) | 0.00158 (0.00122) | 0.000284 (0.000824) |
| 2014.anno | 0.0189*** (0.000976) | 0.00488*** (0.00110) | -0.00495*** (0.00149) | -0.0144*** (0.00105) |
| 2015.anno | 0.0383*** (0.00126) | 0.0190*** (0.00137) | 0.00494*** (0.00183) | 0.00638*** (0.00146) |
| 2016.anno | 0.0502*** (0.00179) | 0.0176*** (0.00161) | 0.00549** (0.00266) | 0.0118*** (0.00175) |
| 2017.anno | 0.0607*** (0.00246) | 0.00996*** (0.00212) | 0.00435 (0.00326) | -0.00420* (0.00218) |
| 2018.anno | 0.0982*** (0.00262) | 0.0403*** (0.00241) | 0.0411*** (0.00354) | 0.0281*** (0.00232) |
| 2019.anno | 0.104*** (0.00281) | 0.0326*** (0.00266) | 0.0394*** (0.00375) | 0.0254*** (0.00254) |
| 2020.anno | 0.0569*** (0.00291) | -0.0169*** (0.00291) | -0.00420 (0.00390) | -0.0109*** (0.00283) |
| 2021.anno | 0.122*** (0.00315) | 0.0476*** (0.00313) | 0.0641*** (0.00430) | 0.0515*** (0.00301) |
| 2022.anno | 0.194*** (0.00335) | 0.111*** (0.00345) | 0.133*** (0.00465) | 0.126*** (0.00327) |
| Constant | 17.43*** (0.00137) | 16.60*** (0.00136) | 17.13*** (0.00186) | 16.55*** (0.00135) |
| Observations | 14,652 | 32,318 | 10,439 | 28,006 |
| R-squared | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tale analisi econometrica è stata estesa al PIL pro capite, i cui risultati sono riportati in Tabella 21.

Nel Nord-Est, riportato in colonna 1, l'effetto della UBB rimane positivo, ma debole e non significativo (coefficiente di 0,000104), come nell'analisi precedente. L'introduzione della variabile FTTH non modifica sostanzialmente i risultati, con un coefficiente associato a FTTH positivo (0,000771), ma non significativo, suggerendo un impatto incrementale limitato sul PIL pro capite.

Nel Nord-Ovest, esaminato in colonna 2, la UBB conferma il suo impatto positivo e significativo (coefficiente di 0,0121, p<0,01). Tuttavia, l'introduzione della variabile FTTH

produce un risultato interessante, infatti il coefficiente associato alla variabile FTTH è negativo e statisticamente significativo ($-0,00501$, $p < 0,05$), suggerendo un possibile effetto incrementale negativo di questa tecnologia sul PIL pro capite. Questo potrebbe essere legato a ritardi nell'adozione o nei benefici derivanti dall'infrastruttura FTTH, oppure ai costi iniziali elevati di implementazione o ancora alla predominanza in questa macro area di aree bianche.

Nel Centro Italia, analizzato in colonna 3, l'aggiunta della variabile FTTH non cambia significativamente i risultati precedenti, l'effetto della UBB rimane positivo, ma non significativo (coefficiente di $0,00215$), mentre l'effetto incrementale della FTTH è negativo ($-0,00107$), ma non statisticamente significativo. Anche in questo caso, le variabili temporali continuano a mostrare una crescita costante del PIL pro capite, con il 2022 che registra l'aumento più elevato (coefficiente di $0,126$).

Nel Sud e nelle Isole, i cui risultati sono riportati in colonna 4, l'effetto della UBB si conferma positivo e significativo (coefficiente di $0,00378$, $p < 0,05$). La variabile FTTH, invece, mostra un impatto negativo e altamente significativo ($-0,00903$, $p < 0,01$), suggerendo che la presenza di questa infrastruttura potrebbe avere un effetto incrementale, rispetto a soluzioni FTTC, negativo sul PIL pro capite, potenzialmente a causa di problemi legati alla sua implementazione o a fattori locali che ne riducono i benefici economici o alla preponderanza di aree bianche in questa macro area.

In conclusione, l'analisi evidenzia che l'introduzione della tecnologia UBB ha un impatto positivo sul PIL pro capite soprattutto nel Nord-Ovest, mentre l'effetto incrementale derivante dall'utilizzo di soluzioni FTTH rispetto a soluzioni FTTC presenta un effetto negativo in alcune macroaree, in particolare nel Nord-Ovest e nel Sud e Isole, indicando possibili ostacoli o ritardi nell'adozione di questa tecnologia.

Tabella 21: Stime OLS impatto FTTH sul PIL pro capite a livello macro regionale

| VARIABLES | (1) log_GDP_per_ capita Nord-Est | (2) log_GDP_per_ capita Nord-Ovest | (3) log_GDP_per_ capita Centro | (4) log_GDP_per_ capita Sud/Isole |
|--------------|---|---|---|--|
| dum_UBB | 0.000104 (0.00167) | 0.0121*** (0.00183) | 0.00215 (0.00253) | 0.00378** (0.00151) |
| dum_FTTH | 0.000771 (0.00213) | -0.00501** (0.00220) | -0.00107 (0.00287) | -0.00903*** (0.00190) |
| 2013.anno | 0.0251*** (0.000904) | 0.0230*** (0.000807) | 0.0160*** (0.00110) | 0.0190*** (0.000806) |
| 2014.anno | 0.0308*** (0.000920) | 0.0234*** (0.00111) | 0.0204*** (0.00125) | 0.0200*** (0.000942) |
| 2015.anno | 0.0545*** (0.00107) | 0.0438*** (0.00124) | 0.0335*** (0.00150) | 0.0382*** (0.00123) |
| 2016.anno | 0.0620*** (0.00135) | 0.0370*** (0.00139) | 0.0314*** (0.00215) | 0.0401*** (0.00142) |
| 2017.anno | 0.0579*** (0.00187) | 0.0183*** (0.00169) | 0.0139*** (0.00258) | 0.0182*** (0.00165) |
| 2018.anno | 0.0834*** (0.00186) | 0.0428*** (0.00193) | 0.0442*** (0.00275) | 0.0545*** (0.00172) |
| 2019.anno | 0.0837*** (0.00195) | 0.0305*** (0.00211) | 0.0412*** (0.00288) | 0.0524*** (0.00186) |
| 2020.anno | 0.0526*** (0.00217) | -0.00393* (0.00232) | 0.0113*** (0.00313) | 0.0360*** (0.00210) |
| 2021.anno | 0.109*** (0.00231) | 0.0532*** (0.00244) | 0.0703*** (0.00340) | 0.0926*** (0.00211) |
| 2022.anno | 0.164*** (0.00262) | 0.104*** (0.00265) | 0.126*** (0.00363) | 0.157*** (0.00224) |
| Constant | 9.921*** (0.000991) | 9.943*** (0.00108) | 9.785*** (0.00145) | 9.527*** (0.000961) |
| Observations | 14,652 | 32,318 | 10,439 | 28,006 |
| R-squared | 0.949 | 0.932 | 0.938 | 0.942 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Per completare l'analisi dell'impatto generato dall'introduzione delle tecnologie FTTH, è utile esaminare la partecipazione economica, l'output di queste stime è riportato in Tabella 22.

Nella prima colonna, che rappresenta il Nord-Est dell'Italia, la variabile dum_UBB mostra un coefficiente positivo e significativo, indicando che l'implementazione della banda ultralarga in questa area è associata a un aumento del numero di persone che contribuiscono al PIL. Questo effetto può riflettere un maggiore accesso al mercato del lavoro reso possibile dalla UBB. Al contrario, la variabile associata alla FTTH presenta un

coefficiente negativo e significativo, suggerendo che la fibra fino all'abitazione potrebbe essere associata a una riduzione della partecipazione economica rispetto a soluzioni FTTC, o che i suoi effetti benefici richiedano più tempo per manifestarsi in questa regione. Analizzando le variabili annuali, si osserva un andamento negativo fino al 2017, seguito da un'inversione positiva dal 2018, segnale di una ripresa verso la fine del periodo.

In colonna 2, relativa al Nord-Ovest, la *dum_UBB* presenta un coefficiente positivo e significativo, di entità maggiore rispetto al Nord-Est, suggerendo un impatto particolarmente positivo della banda ultralarga sull'aumento della partecipazione economica in quest'area. La variabile *dum_FTTH* ha invece un coefficiente negativo e non significativo, suggerendo un effetto trascurabile della FTTH. Le variabili annuali mostrano un trend negativo fino al 2017, seguito da una riduzione meno marcata dopo il 2018, sebbene meno pronunciata rispetto al Nord-Est.

Nella terza colonna, riferita al Centro Italia, la variabile *dum_UBB* mantiene un coefficiente positivo e significativo, confermando l'effetto positivo della UBB anche in quest'area, sebbene con un'intensità leggermente inferiore rispetto al Nord-Ovest. La variabile *dum_FTTH* ha un coefficiente negativo e non significativo, indicando un impatto debole o nullo della FTTH sulla partecipazione economica. I coefficienti annuali mostrano una tendenza negativa fino al 2017, seguita da un miglioramento progressivo a partire dal 2018 e un incremento significativo nel 2022, segnalando una recente ripresa.

Nell'ultima colonna, che analizza il Sud e le Isole, la variabile *dum_UBB* presenta un coefficiente positivo e significativo, seppure di entità inferiore rispetto alle altre aree, indicando un impatto limitato della UBB in queste regioni. La variabile *dum_FTTH* mostra un coefficiente positivo e significativo, suggerendo che, in questo contesto, la fibra fino all'abitazione possa avere un effetto particolarmente efficace nel migliorare la partecipazione economica rispetto all'infrastruttura FTTC. Le variabili annuali mostrano un trend negativo costante fino al 2021, con una riduzione più marcata negli ultimi anni, ma un lieve miglioramento nel 2022, che potrebbe segnalare un'inversione del trend.

Tabella 22: Stime OLS impatto UBB sulla partecipazione economica a livello macro regionale

| VARIABLES | (1) log_freq Nord-Est | (2) log_freq Nord-Ovest | (3) log_freq Centro | (4) log_freq Sud/Isole |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| dum_UBB | 0.00768*** (0.00175) | 0.0162*** (0.00162) | 0.00793*** (0.00235) | 0.00563*** (0.00169) |
| dum_FTTH | -0.00824*** (0.00242) | -0.00150 (0.00192) | -0.000854 (0.00297) | 0.0104*** (0.00249) |
| 2013.anno | -0.00777*** (0.000984) | -0.0143*** (0.000589) | -0.0144*** (0.000932) | -0.0187*** (0.000637) |
| 2014.anno | -0.0119*** (0.000821) | -0.0185*** (0.000878) | -0.0254*** (0.00116) | -0.0344*** (0.000849) |
| 2015.anno | -0.0162*** (0.00105) | -0.0248*** (0.00101) | -0.0285*** (0.00152) | -0.0318*** (0.00114) |
| 2016.anno | -0.0118*** (0.00135) | -0.0194*** (0.00119) | -0.0259*** (0.00199) | -0.0283*** (0.00141) |
| 2017.anno | 0.00280 (0.00188) | -0.00832*** (0.00151) | -0.00950*** (0.00252) | -0.0224*** (0.00172) |
| 2018.anno | 0.0148*** (0.00196) | -0.00246 (0.00167) | -0.00318 (0.00272) | -0.0264*** (0.00192) |
| 2019.anno | 0.0199*** (0.00209) | 0.00206 (0.00178) | -0.00184 (0.00285) | -0.0270*** (0.00212) |
| 2020.anno | 0.00429* (0.00223) | -0.0130*** (0.00195) | -0.0155*** (0.00307) | -0.0469*** (0.00226) |
| 2021.anno | 0.0137*** (0.00239) | -0.00561*** (0.00211) | -0.00621* (0.00326) | -0.0411*** (0.00243) |
| 2022.anno | 0.0295*** (0.00264) | 0.00608*** (0.00232) | 0.00748** (0.00358) | -0.0304*** (0.00266) |
| Constant | 7.508*** (0.00114) | 6.657*** (0.000978) | 7.344*** (0.00149) | 7.022*** (0.00113) |
| Observations | 14,652 | 32,318 | 10,439 | 28,006 |
| R-squared | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Dall'analisi delle variabili macro-econometriche relative all'impatto dell'introduzione della tecnologia FTTH, è possibile trarre alcune conclusioni generali per ciascuna delle macroaree considerate.

Per quanto riguarda il Nord-Est, emerge un impatto negativo sul PIL aggregato e sulla frequenza di partecipazione economica, ma senza effetti significativi sul PIL pro capite. Questo suggerisce che, in questa area, l'introduzione della FTTH è associata a una distruzione economica, caratterizzata da un decremento delle persone coinvolte nella partecipazione economica. In altre parole, l'introduzione di questa tecnologia potrebbe

portare a una riduzione delle opportunità occupazionali, con un impatto negativo sul numero di posti di lavoro disponibili.

Nel Nord-Ovest, il PIL aggregato mostra un impatto negativo, seppur meno marcato rispetto al Nord-Est, anche l'effetto sul PIL pro capite è negativo invece l'impatto sulla frequenza economica non è statisticamente significativo. In questo caso, l'introduzione della FTTH influisce negativamente sulla crescita economica, con una diminuzione dei salari, ma l'impatto sulla partecipazione economica non risulta statisticamente significativo. Ciò implica che la tecnologia FTTH non stimola in modo positivo la crescita economica in questa regione, e la causa principale potrebbe essere una riduzione dei redditi, che non favorisce l'incremento dell'occupazione.

Per il Centro Italia, l'introduzione della FTTH non ha effetti significativi né sul PIL aggregato né sul PIL pro capite, e neppure sulla frequenza di partecipazione economica. Questo risultato suggerisce che, a livello macroregionale, la tecnologia FTTH non generi impatti concreti, probabilmente a causa di caratteristiche socio-economiche locali che limitano l'efficacia di questa innovazione tecnologica nel favorire una crescita economica tangibile.

Infine, per il Sud e le Isole, si osserva un impatto statisticamente non significativo sul PIL aggregato, ma un impatto negativo sul PIL pro capite, accompagnato da un effetto positivo sulla partecipazione economica. Questo implica che l'introduzione della FTTH nel Sud e nelle Isole può portare a una diminuzione dei salari, ma contemporaneamente stimola un aumento delle occupazioni. In particolare, si può ipotizzare che l'adozione della tecnologia crei nuove opportunità lavorative, probabilmente più orientate verso i settori a basso salario o quelle occupazioni destinate ai giovani. Questi effetti potrebbero riflettere una diversa dinamica occupazionale nelle aree meridionali, dove l'introduzione di infrastrutture digitali favorisce una crescita quantitativa delle opportunità lavorative, ma non necessariamente una crescita qualitativa in termini di salario.

In conclusione, l'introduzione della tecnologia FTTH non sembra generare effetti omogenei su tutte le macroaree italiane, e gli impatti variano a seconda delle caratteristiche socio-economiche locali, dei settori economici prevalenti e della capacità di assorbire tali innovazioni da parte del mercato del lavoro.

4.2 Metodo IV

L'applicazione del modello OLS per stimare l'impatto causale dell'introduzione dell'infrastruttura di banda ultra larga sul PIL comunale può risultare problematica a causa di due principali fonti di bias. La prima è legata alle variabili omesse, che potrebbero influenzare sia l'introduzione della banda ultra larga sia la crescita economica, ma che non sono adeguatamente catturate nel modello. Anche se si includono effetti temporali e comunali, fattori come il livello di istruzione o la presenza di infrastrutture preesistenti possono generare una correlazione spuria tra la presenza dell'UBB e il PIL comunale. La seconda fonte di bias è la causalità inversa. Mentre si ipotizza che l'introduzione dell'UBB generi un effetto positivo sulla crescita economica comunale, è possibile che comuni con livelli di PIL più elevati abbiano maggiori probabilità di attrarre investimenti in infrastrutture tecnologiche, influenzando quindi le decisioni di implementazione dell'UBB. Questo fenomeno introduce una relazione bidirezionale tra la variabile indipendente UBB e la variabile dipendente PIL, distorcendo le stime OLS.

Un metodo comunemente utilizzato per affrontare tali problematiche è quello Differenze nelle Differenze, anche noto come Diff-in-Diff, che stima gli effetti di uno shock confrontando il gruppo di trattamento e il gruppo di controllo prima e dopo il verificarsi di uno shock. Tuttavia, questa metodologia presuppone che lo shock sia esogeno, cioè non influenzato da variabili endogene. Nel contesto italiano, però, l'introduzione dell'UBB è guidata prevalentemente da investimenti privati, i quali non sono distribuiti casualmente ma seguono logiche di profittabilità e ritorni economici. Di conseguenza, esiste una selezione nel trattamento, rendendo difficile trattare l'introduzione dell'UBB come un esperimento naturale.

Per superare le limitazioni sopra descritte, si utilizza il metodo degli Strumenti Strumentali (IV), che permette di affrontare i problemi di endogeneità attraverso l'identificazione di una variabile strumentale, denominata strumento. Lo strumento deve soddisfare due condizioni, ossia deve essere correlato con la variabile endogena, ossia l'introduzione dell'UBB, ma non deve essere correlato con il termine di errore del modello, ovvero non deve influenzare direttamente la variabile dipendente, in questo caso il PIL. Queste due condizioni possono essere espresse matematicamente come segue:

$$\text{corr}(Z_i, u_i) = 0 \quad (14)$$

$$\text{corr}(Z_i, X_i) \neq 0 \quad (15)$$

L'equazione 14 serve per stabilire se lo strumento è rilevante mentre, l'equazione 15 a stabilir se lo strumento è esogeno.

Una volta identificata una variabile che soddisfa queste caratteristiche, è possibile stimare l'impatto causale dell'introduzione dell'UBB sul PIL comunale tramite il metodo dei Due Stadi dei Minimi Quadrati in inglese Two Stages Least Squares (TSLS). Nel primo stadio del TSLS, la variabile endogena X_i , in questo caso, l'introduzione dell'UBB, viene regressa sulla variabile strumentale Z_i . L'obiettivo è ottenere una stima della variabilità della variabile endogena che sia spiegata esclusivamente dallo strumento, riducendo così l'influenza dei fattori che causano l'endogeneità. La forma dell'equazione nel primo stadio è la seguente:

$$X_i = \pi_0 + \pi_1 Z_i + v_i \quad (16)$$

Viene infatti predetto un valore della variabile d'interesse \hat{X}_i pari a $\pi_0 + \pi_1 Z_i$ che non dipende da nessun'altra potenziale variabile omessa: \hat{X}_i non è quindi correlata con ε siccome Z_i è esogeno.

In questo stadio è possibile verificare l'importanza dello strumento attraverso il coefficiente π_1 , che dovrebbe risultare statisticamente significativo. Un test comunemente utilizzato per validare la rilevanza dello strumento è il F-test, nel caso risulti un valore di F superiore a 10 è generalmente considerato un indicatore di uno strumento adeguatamente forte. In questo step, inoltre, viene predetto il valore della variabile d'interesse \hat{X}_i .

$$\hat{X}_i = \hat{\pi}_0 + \hat{\pi}_1 Z_i \quad (16)$$

Nel secondo stadio, il valore predetto \hat{X}_i della variabile endogena viene utilizzato per stimare l'effetto causale sulla variabile dipendente Y_i . L'equazione del secondo stadio assume la forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \hat{X}_i + \epsilon_i \quad (17)$$

In questo stadio, β_1 fornisce una stima dell'effetto causale dell'introduzione dell'UBB sul PIL. Poiché il valore previsto \hat{X}_i è determinato dallo strumento e non è influenzato dall'endogeneità, la stima di β_1 è più affidabile rispetto a quella ottenuta tramite OLS.

Un potenziale problema legato all'uso del metodo TSLS è quello degli strumenti deboli, che si verifica quando lo strumento Z_i è solo debolmente correlato con la variabile endogena X_i . Se lo strumento è debole, la varianza della stima di β_1 può risultare molto elevata, riducendo la precisione delle analisi. Inoltre, strumenti deboli possono introdurre un bias nelle stime, compromettendo la validità del modello. Per questo motivo, è cruciale verificare la forza dello strumento nel primo stadio.

In termini riassuntivi, il metodo IV e la tecnica dei Due Stadi dei Minimi Quadrati (TSLS) sono strumenti efficaci per affrontare i problemi di endogeneità, ma richiedono una selezione attenta e una verifica rigorosa della validità e della rilevanza dello strumento utilizzato per garantire stime consistenti e affidabili.

4.2.1 Specificazioni del modello

Per l'implementazione di questo metodo, il primo passo cruciale è stato l'identificazione di una variabile strumentale adeguata, capace di soddisfare le condizioni di validità necessarie per isolare l'effetto causale della variabile indipendente. Tale selezione è stata effettuata conformemente alla letteratura economica di riferimento, in particolare seguendo le indicazioni fornite nello studio di Cambini e Sabatino (2023). Questo studio ha suggerito una base teorica e metodologica per la scelta della variabile strumentale, risultata fondamentale per garantire la robustezza dei risultati. Nello specifico, la variabile strumentale prescelta è la distanza di ciascun comune dal nodo OPB più vicino. Tale distanza si configura come una variabile invariabile dal punto di vista temporale, poiché si tratta di una misura fissa per ogni comune, non soggetta a cambiamenti nel tempo. Questa caratteristica rappresenta però una sfida nelle analisi con effetti fissi comunali, poiché l'inclusione diretta della variabile in un modello a effetti fissi a livello comunale sarebbe inefficace, infatti l'effetto fisso assorbirebbe completamente la variabile strumentale, annullando quindi la sua influenza sul modello. Per ovviare a questo

problema, si è scelto di far interagire la variabile di distanza con una variabile temporale `post_2015`, che assume valore 1 a partire dal 2015, anno in cui è stato introdotto il Piano Nazionale per la Banda Ultra Larga in Italia. Questa interazione permette alla variabile strumentale di variare nel tempo solo a partire dal 2015, mantenendo quindi una componente temporale rilevante. In questo modo, si rende possibile l'isolamento dell'effetto di prossimità al nodo OPB dopo l'avvio dell'UBB, evidenziando i cambiamenti attribuibili alla maggiore disponibilità di banda ultra larga nei comuni più vicini ai nodi.

Il modello di regressione impiegato adotta una specificazione analoga a quella dell'Equazione 12, includendo effetti fissi sia a livello comunale sia a livello annuale. Gli effetti fissi comunali permettono di controllare per tutte le caratteristiche non osservabili e invariabili a livello comunale, mentre gli effetti fissi annuali tengono conto delle dinamiche macroeconomiche e di contesto che influenzano l'intero campione in ciascun anno. Questa specificazione consente una stima più precisa e controllata degli effetti della variabile indipendente.

L'obiettivo finale dell'analisi è quello di quantificare l'impatto causale di un ulteriore anno di disponibilità di connessione a banda ultra larga sull'occupazione. Questo approccio permette di stimare con maggiore accuratezza l'effetto della diffusione della banda ultra larga sulla crescita economica, fornendo una valutazione robusta dell'impatto delle infrastrutture digitali sulle dinamiche locali di sviluppo economico.

4.2.2 Analisi dello strumento

Per ottenere stime consistenti nell'ambito della regressione a variabili strumentali, è essenziale che lo strumento prescelto rispetti rigorosamente le condizioni di validità, ovvero le proprietà di rilevanza ed esogeneità. In primo luogo, la rilevanza richiede una correlazione significativa tra lo strumento e la variabile endogena di interesse, qui rappresentata dalla diffusione della banda ultra larga. Più precisamente, si ipotizza una relazione negativa tra la copertura di banda ultra larga di un comune e la distanza di quest'ultimo dal nodo OPB. Tale ipotesi si basa sull'intuizione che l'installazione della fibra ottica, comportando lavori di scavo e di infrastrutturazione, risulti economicamente più

vantaggiosa per i comuni prossimi ai nodi OPB, mentre diviene progressivamente più onerosa per le aree maggiormente distanti. Conseguentemente, si presume che i comuni situati più vicino ai nodi abbiano beneficiato di una copertura anticipata rispetto a quelli più lontani, che hanno potuto accedere alla nuova tecnologia con tempistiche dilazionate. La condizione di esogeneità, invece, implica l'assenza di correlazione tra lo strumento e le determinanti non osservabili del GDP. In questo contesto, si assume che tale correlazione sia nulla, partendo dall'ipotesi che la distanza dai nodi OPB non influenzi direttamente il GDP o i suoi componenti, a meno che questa influenza non sia mediata dalla diffusione della banda ultra larga. Tale assunzione si allinea con la letteratura economica, che considera spesso le variabili di distanza come strumenti validi in situazioni analoghe.

Il primo stadio della regressione a variabili strumentali, come evidenziato nella Tabella 23, conferma la correlazione tra lo strumento $\text{Post2015} \times \text{mindist_OPB}$ e la variabile endogena dum_UBB . I risultati ottenuti mostrano un coefficiente sia statisticamente significativo sia negativo, in linea con l'ipotesi teorica, ossia che all'aumentare della distanza dal nodo, la probabilità di accesso alla banda ultra larga diminuisca, poiché i comuni più lontani tendono a essere raggiunti con maggiore ritardo. La stima del coefficiente è pari a -0.0001277 , con un errore standard di 0.0000117 . Tale risultato, altamente significativo ($p < 0.01$), conferma una forte correlazione tra lo strumento e la variabile endogena relativa alla presenza della fibra ottica, attestando quindi la validità e potenza dello strumento nel contesto della regressione a variabili strumentali.

La significativa correlazione statistica tra lo strumento e la variabile endogena suggerisce che lo strumento è potente, una conclusione ulteriormente supportata dal valore del test F del primo stadio. Il test F restituisce un valore pari a 118.68 ($p < 0.01$), nettamente superiore ai valori critici per la validità strumentale. Questo elevato valore del test F indica chiaramente che postXOpb è uno strumento robusto e adeguato a predire la variabile dum_UBB , fornendo così una solida base per l'identificazione dell'effetto causale della diffusione della banda ultra larga.

Il rispetto delle condizioni di validità e di potenza dello strumento consente di interpretare con maggiore affidabilità l'impatto dell'accesso a Internet ultraveloce sulla crescita economica locale dei comuni italiani.

Tabella 23: Primo stadio del modello IV

| VARIABLES | (1) Primo Stadio |
|---------------------------|------------------------------|
| dum_UBB | -0.0001277*** (1.17e-05) |
| 2012.anno | -0.7608245*** (0.0073109) |
| 2013.anno | -0.7608245*** (0.0073109) |
| 2014.anno | -0.7608245*** (0.0073109) |
| 2015.anno | -0.5729609*** (0.0056522) |
| 2016.anno | -0.4385115*** (0.0056550) |
| 2017.anno | -0.2310421*** (0.0047779) |
| 2018.anno | -0.1985888*** (0.0045129) |
| 2019.anno | -0.1533859*** (0.0040912) |
| 2020.anno | -0.0895042*** (0.0032759) |
| 2021.anno | -0.0543464*** (0.0026173) |
| 2022.anno | - |
| F-test | 116,68 |
| Observations | 85,415 |
| R-squared | - |
| Number of ISTAT comune | 7,765 |

Robust se pval in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

4.2.3 Analisi stime IV

In questa sezione sono analizzate le stime ottenute mediante l'approccio a variabili strumentali per i tre indicatori macroeconomici considerati: PIL, PIL pro capite e partecipazione economica. I principali risultati, ottenuti tenendo in considerazione sia gli effetti fissi annuali sia quelli comunali, sono presentati nella Tabella 24 riportata di seguito.

Nella prima colonna, le stime si riferiscono alla variabile dipendente GDP. In questa stima la variabile che rappresenta la disponibilità di banda ultra larga, mostra un coefficiente

positivo pari a 0.173 associato a un alto livello di significatività statistica ($p < 0.01$), suggerendo che l'accesso all'infrastruttura digitale UBB sia associato a una crescita del PIL. Per quanto riguarda le variabili temporali, invece, esse evidenziano effetti negativi statisticamente significativi sulla variabile in esame a partire dal 2015.

La seconda colonna, invece, esamina la variabile relativa al PIL pro capite. Anche in questo caso, la variabile `dum_UBB` presenta un coefficiente positivo pari a 0.0367, sebbene di entità inferiore rispetto al PIL aggregato, ma ancora statisticamente significativo ($p < 0.01$), il che suggerisce che la disponibilità di banda ultra larga ha un impatto positivo anche sul PIL pro capite. Tuttavia, gli effetti fissi annuali risultano prevalentemente negativi e statisticamente significativi.

Infine, l'ultima colonna riporta le stime relative alla partecipazione economica, che rappresenta il numero di persone concorrenti alla generazione della ricchezza nazionale. Analogamente alle stime precedenti, la variabile `dum_UBB` presenta un coefficiente positivo e statisticamente significativo pari a 0.136, suggerendo che l'infrastruttura UBB sia associata a un aumento della partecipazione economica. Gli effetti fissi annuali, in questo caso, risultano prevalentemente positivi, ma si attenuano progressivamente negli anni più recenti.

In conclusione, l'introduzione dell'infrastruttura digitale banda ultra larga è fortemente correlata a una crescita del prodotto interno lordo, realizzata sia tramite un incremento del PIL pro capite, sia, e in modo più rilevante, attraverso un aumento della partecipazione economica. Questo dato suggerisce che l'UBB non solo sostiene la crescita economica complessiva, ma genera effetti positivi specifici su elementi chiave come l'occupazione e i salari.

La relazione tra l'espansione della rete UBB e l'aumento della partecipazione economica evidenzia che il miglioramento della connettività e della velocità di rete ha favorito la creazione di nuovi posti di lavoro, portando a una maggiore inclusione della popolazione attiva nel mercato del lavoro. Inoltre, l'accesso all'UBB può incentivare le imprese a potenziare le proprie attività digitali e a investire in tecnologie avanzate, che richiedono competenze elevate e personale specializzato.

Sebbene con un effetto moderato, l'infrastruttura UBB sembra influire positivamente anche sui salari. Questo possibile aumento può derivare da un miglioramento della produttività aziendale, legato all'adozione di tecnologie avanzate abilitate dalla banda

ultra larga. Le connessioni rapide permettono infatti alle imprese di ottimizzare processi e migliorare l'efficienza operativa, accrescendo la produzione per lavoratore e il valore aggiunto per dipendente. Tuttavia, l'impatto sui salari medi appare meno marcato rispetto all'occupazione, probabilmente poiché l'adozione dell'UBB non comporta subito una riorganizzazione delle retribuzioni, ma agisce piuttosto in modo incrementale sull'offerta e sulla domanda di lavoro nel medio e lungo termine.

Tabella 24: Secondo stadio stime IV impatto UBB

| VARIABLES | (1) log_GDP | (2) log_GDP_per_capita | (3) log_freq |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| dum_UBB | 0.173*** (0.0195) | 0.0367*** (0.0111) | 0.136*** (0.0147) |
| 2012.anno | -0.0200 (0.0139) | -0.110*** (0.00793) | 0.0904*** (0.0105) |
| 2013.anno | -0.0135 (0.0139) | -0.0893*** (0.00793) | 0.0758*** (0.0105) |
| 2014.anno | -0.0203 (0.0138) | -0.0873*** (0.00791) | 0.0670*** (0.0105) |
| 2015.anno | -0.0249** (0.0113) | -0.0723*** (0.00642) | 0.0474*** (0.00856) |
| 2016.anno | -0.0427*** (0.00865) | -0.0774*** (0.00493) | 0.0347*** (0.00658) |
| 2017.anno | -0.0817*** (0.00463) | -0.101*** (0.00266) | 0.0194*** (0.00356) |
| 2018.anno | -0.0537*** (0.00398) | -0.0728*** (0.00229) | 0.0190*** (0.00304) |
| 2019.anno | -0.0642*** (0.00311) | -0.0801*** (0.00181) | 0.0159*** (0.00237) |
| 2020.anno | -0.119*** (0.00195) | -0.110*** (0.00120) | -0.00868*** (0.00144) |
| 2021.anno | -0.0599*** (0.00125) | -0.0542*** (0.000797) | -0.00572*** (0.000902) |
| 2022.anno | - | - | - |
| Observations | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | -0.048 | 0.380 | -0.713 |
| Number of ISTAT comune | 7,765 | 7,765 | 7,765 |

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

4.3 Analisi comparativa stime IV e OLS

In questa sezione, saranno confrontate le stime ottenute con i metodi a variabili strumentali (IV) e OLS. In primo luogo, in Tabella 25 sono riportati i principali risultati associati alla crescita economica. Ci concentreremo in particolare sulle colonne 1 e 4 per investigare più a fondo le differenze tra i due approcci, mantenendo costanti gli effetti fissi annuali e comunali.

Nel modello IV (colonna 1), il coefficiente stimato della variabile *dum_UBB*, rappresentante la disponibilità di banda ultra larga, è pari a 0.173, con una significatività statistica elevata ($p < 0.01$). Questo risultato suggerisce che la disponibilità di UBB ha un effetto positivo moderato sulla crescita del PIL, tenendo conto degli effetti fissi. Nella colonna 4, invece, il modello OLS con effetti fissi annuali e comunali stima per la variabile *dum_UBB* un coefficiente molto più contenuto, pari a 0.0175, anch'esso altamente significativo ($p < 0.01$). La differenza tra questi valori è significativa e può fornire spunti per comprendere le specifiche caratteristiche e potenziali limitazioni dei due approcci.

L'ampia differenza tra i coefficienti della variabile *dum_UBB* stimati nei modelli IV e OLS può essere ricondotta a problematiche di endogeneità. Nel modello IV, infatti, si cerca di risolvere l'endogeneità utilizzando una variabile strumentale, la quale consente di ottenere una stima dell'effetto causale della disponibilità di UBB sul PIL più precisa rispetto al modello OLS. Questo approccio riduce il rischio che il coefficiente di *dum_UBB* sia influenzato da variabili omesse o da correlazioni spurie tra i regressori e l'errore. Di conseguenza, il modello IV stima un impatto più marcato dell'UBB sulla crescita del PIL, perché riesce a isolare meglio l'effetto specifico dell'infrastruttura, evitando potenziali bias derivanti da fattori confondenti.

Al contrario, il modello OLS potrebbe sottostimare l'effetto di *dum_UBB* a causa della mancata correzione per l'endogeneità. L'OLS non include strumenti per gestire la correlazione tra la disponibilità di banda larga e altre variabili non osservate che potrebbero influire simultaneamente sul PIL e sull'introduzione dell'UBB. Questo può portare a bias di stima, risultando in un coefficiente per *dum_UBB* più contenuto, poiché il modello potrebbe non riuscire a catturare pienamente la variazione causale attribuibile alla sola disponibilità di UBB.

Tabella 25: Confronto stime relative all'impatto dell'UBB sul PIL tra modelli IV e OLS

| VARIABLES | (1) IV log_GDP | (2) OLS log_GDP | (3) OLS log_GDP | (4) OLS log_GDP |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| dum_UBB | 0.173*** (0.0195) | 1.124*** (0.0100) | 1.587*** (0.0110) | 0.0175*** (0.00132) |
| 2012.anno | -0.0200 (0.0139) | | | |
| 2013.anno | -0.0135 (0.0139) | | 0.00656 (0.0235) | 0.00656*** (0.000463) |
| 2014.anno | -0.0203 (0.0138) | | -0.000237 (0.0236) | -0.000237 (0.000609) |
| 2015.anno | -0.0249** (0.0113) | | -0.192*** (0.0227) | 0.0156*** (0.000788) |
| 2016.anno | -0.0427*** (0.00865) | | -0.400*** (0.0221) | 0.0186*** (0.000980) |
| 2017.anno | -0.0817*** (0.00463) | | -0.732*** (0.0220) | 0.0119*** (0.00129) |
| 2018.anno | -0.0537*** (0.00398) | | -0.750*** (0.0221) | 0.0449*** (0.00142) |
| 2019.anno | -0.0642*** (0.00311) | | -0.825*** (0.0225) | 0.0414*** (0.00157) |
| 2020.anno | -0.119*** (0.00195) | | -0.969*** (0.0230) | -0.00314* (0.00170) |
| 2021.anno | -0.0599*** (0.00125) | | -0.960*** (0.0233) | 0.0610*** (0.00181) |
| 2022.anno | - | | -0.977*** (0.0238) | 0.129*** (0.00193) |
| Constant | 85,415 | 16.43*** (0.00581) | 16.79*** (0.0166) | 16.79*** (0.000779) |
| Observations | -0.048 | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | 7,765 | 0.131 | 0,180 | 0,999 |
| Number of ISTAT_comune | | | | |

Robust se pval in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Successivamente, sono state esaminate le discrepanze tra le stime IV e OLS per il PIL pro capite, i cui risultati sono riportati in Tabella 26.

In linea con quanto osservato per il PIL aggregato, anche in questa analisi il coefficiente associato alla variabile dummy per l'implementazione della banda ultra larga risulta significativamente più elevato nel modello IV rispetto a quello stimato con il modello OLS. Tale differenza può essere attribuita alla capacità del modello IV di correggere per l'endogeneità, isolando meglio l'effetto causale della banda ultra larga sul PIL pro capite e

riducendo l'influenza di potenziali bias dovuti a variabili non osservabili, come precedentemente discusso.

Tabella 26: Confronto stime relative all'impatto dell'UBB sul PIL pro capite tra modelli IV e OLS

| VARIABLES | (1) IV log_GDP_per_ capita | (2) OLS log GDP_per_ capita | (3) OLS log_GDP_per_ capita | (4) OLS log_GDP_per_ capita |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| dum_UBB | 0.0367*** (0.0111) | 0.0407*** (0.00181) | 0.0187*** (0.00217) | 0.00811*** (0.00101) |
| dum_FTTH | -0.110*** (0.00793) | | | |
| 2013.anno | -0.0893*** (0.00793) | | 0.0212*** (0.00396) | 0.0212*** (0.000454) |
| 2014.anno | -0.0873*** (0.00791) | | 0.0232*** (0.00399) | 0.0232*** (0.000567) |
| 2015.anno | -0.0723*** (0.00642) | | 0.0406*** (0.00400) | 0.0420*** (0.000674) |
| 2016.anno | -0.0774*** (0.00493) | | 0.0379*** (0.00401) | 0.0407*** (0.000807) |
| 2017.anno | -0.101*** (0.00266) | | 0.0180*** (0.00413) | 0.0230*** (0.00100) |
| 2018.anno | -0.0728*** (0.00229) | | 0.0468*** (0.00411) | 0.0522*** (0.00109) |
| 2019.anno | -0.0801*** (0.00181) | | 0.0403*** (0.00411) | 0.0461*** (0.00120) |
| 2020.anno | -0.110*** (0.00120) | | 0.0116*** (0.00413) | 0.0181*** (0.00133) |
| 2021.anno | -0.0542*** (0.000797) | | 0.0679*** (0.00416) | 0.0748*** (0.00138) |
| 2022.anno | - | | 0.123*** (0.00419) | 0.131*** (0.00146) |
| Constant | | 9.815*** (0.00104) | 9.784*** (0.00280) | 9.784*** (0.000586) |
| Observations | 85,415 | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | 0.380 | 0.006 | 0.021 | 0.970 |
| Number of ISTAT_comune | 7,765 | | | |

Robust se pval in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Infine, l'analisi è stata estesa anche alla variabile relativa alla partecipazione economica. Anche in questo caso, come già osservato per il PIL aggregato e il PIL pro capite, l'impatto della variabile dummy UBB risulta più marcato nelle stime IV rispetto a quelle OLS, come evidenziato in Tabella 27. Questa discrepanza rafforza ulteriormente l'interpretazione

secondo cui l'approccio IV, correggendo per l'endogeneità, riesce a catturare meglio l'effetto causale della banda ultra larga sulla partecipazione economica, minimizzando l'influenza di bias derivanti da variabili omesse o non osservabili.

Tabella 27: Confronto stime relative all'impatto dell'UBB sulla partecipazione economica tra modelli IV e OLS

| VARIABLES | (3) IV log_freq | (1) OLS log_freq | (2) OLS log_freq | (3) OLS log_freq |
|------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| dum_UBB | 0.136*** (0.0147) | 1.083*** (0.00938) | 1.568*** (0.0101) | 0.00940*** (0.000962) |
| 2012.anno | 0.0904*** (0.0105) | | | |
| 2013.anno | 0.0758*** (0.0105) | | -0.0146 (0.0222) | -0.0146*** (0.000370) |
| 2014.anno | 0.0670*** (0.0105) | | -0.0234 (0.0223) | -0.0234*** (0.000487) |
| 2015.anno | 0.0474*** (0.00856) | | -0.232*** (0.0212) | -0.0264*** (0.000591) |
| 2016.anno | 0.0347*** (0.00658) | | -0.438*** (0.0207) | -0.0220*** (0.000727) |
| 2017.anno | 0.0194*** (0.00356) | | -0.750*** (0.0206) | -0.0111*** (0.000933) |
| 2018.anno | 0.0190*** (0.00304) | | -0.797*** (0.0206) | -0.00731*** (0.00103) |
| 2019.anno | 0.0159*** (0.00237) | | -0.865*** (0.0210) | -0.00475*** (0.00112) |
| 2020.anno | -0.00868*** (0.00144) | | -0.981*** (0.0215) | -0.0212*** (0.00122) |
| 2021.anno | -0.00572*** (0.000902) | | -1.028*** (0.0218) | -0.0138*** (0.00131) |
| 2022.anno | - | | -1.100*** (0.0222) | -0.00121 (0.00140) |
| Constant | | 6.613*** (0.00547) | 7.007*** (0.0157) | 7.007*** (0.000604) |
| Observations | 85,415 | 85,415 | 85,415 | 85,415 |
| R-squared | -0.713 | 0.137 | 0.198 | 0.999 |
| Number of ISTAT comune | 7,765 | | | |

Robust se pval in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha analizzato l'impatto economico generato dall'introduzione delle infrastrutture digitali in fibra ottica sulla crescita economica dei comuni italiani, con l'obiettivo di distinguere se tale effetto sia riconducibile all'incremento della ricchezza pro capite, a una maggiore partecipazione economica o a entrambi i fattori.

La tesi ha dapprima offerto un inquadramento teorico delle tecnologie di connessione e ha successivamente analizzato la letteratura esistente in merito alle conseguenze economiche della disponibilità di Internet. Sono state illustrate le politiche nazionali ed europee per incentivare la diffusione della fibra ottica e gli sviluppi della connettività in Italia. Per l'analisi empirica è stato utilizzato un dataset panel, contenente dati economici e infrastrutturali relativi a 7.765 comuni italiani nel periodo dal 2012 al 2022. Questa banca dati ha consentito di valutare le tendenze temporali dell'economia locale, osservando le variazioni territoriali relative all'introduzione progressiva della banda larga a partire dal 2015. L'analisi econometrica ha impiegato sia il metodo dei minimi quadrati ordinari (OLS) sia il Two Stages Least Squares (IV), sfruttando una variabile strumentale costruita come interazione tra la distanza del comune dal nodo Optical Packet Backbone più vicino e una dummy temporale attiva dal 2015.

I risultati empirici confermano che la disponibilità di banda ultra larga ha un impatto positivo e significativo sulla crescita economica dei comuni italiani, sia in termini di PIL aggregato sia di PIL pro capite e partecipazione economica. Questo effetto si manifesta più fortemente nelle stime IV, le quali correggono per eventuali problemi di endogeneità, offrendo così una stima più precisa dell'effetto causale della UBB. In particolare, l'introduzione della banda ultra larga risulta associata a un incremento consistente del PIL aggregato e, in misura minore, del PIL pro capite, mentre si osserva una crescita più marcata della partecipazione economica. Questo risultato suggerisce che l'effetto positivo della banda larga sulla crescita economica è spiegabile principalmente tramite l'espansione dell'occupazione e l'inclusione di nuove persone nel mercato del lavoro, piuttosto che da un aumento diretto e generalizzato dei salari. L'utilizzo del modello IV rivela un impatto più forte rispetto al modello OLS, segnalando che l'approccio a variabili strumentali isola più efficacemente l'effetto specifico della UBB e corregge per le variabili

non osservabili che potrebbero influenzare contemporaneamente l'introduzione della banda larga e la crescita economica.

Per approfondire ulteriormente l'impatto delle infrastrutture, è stato analizzato l'effetto incrementale dell'introduzione di FTTH sui comuni già serviti da altre infrastrutture in fibra. I risultati mostrano che l'introduzione della tecnologia FTTH è associata a un calo del PIL aggregato, probabilmente dovuto alla creazione di posti di lavoro a basso salario, i quali, pur incrementando l'occupazione, riducono il PIL complessivo pro capite. Per comprendere meglio l'effetto di FTTH, si è quindi condotta un'analisi differenziata tra aree bianche e aree non bianche. Nelle aree non bianche, l'introduzione di FTTH mostra un impatto positivo sul PIL aggregato, accompagnato da una riduzione dei salari medi e da un aumento della partecipazione economica. Al contrario, nelle aree bianche, FTTH non ha prodotto risultati significativi, evidenziando che per ottenere un impatto positivo questi comuni, spesso rurali o montani, con bassa densità abitativa, potrebbero richiedere maggior tempo e ulteriori politiche di supporto.

L'analisi è stata infine estesa al livello delle macroaree geografiche italiane, evidenziando differenze regionali rilevanti nell'impatto della tecnologia FTTH. In particolare, nel Nord-Est, FTTH è associata a una riduzione della partecipazione economica e a un effetto complessivo non significativo sui salari, suggerendo un impatto negativo su occupazione e redditi locali. Nel Nord-Ovest, l'introduzione di FTTH mostra un effetto negativo sui salari, ma non significativo sulla partecipazione economica, indicando che la tecnologia non riesce a stimolare adeguatamente la crescita economica, probabilmente a causa di una riduzione dei redditi medi. Nel Centro Italia, FTTH non presenta impatti concreti, suggerendo che le caratteristiche socioeconomiche della regione possano ridurre l'efficacia di questa tecnologia nel promuovere una crescita economica tangibile. Per il Sud e le Isole, FTTH è associata a una diminuzione dei salari, ma al contempo a un aumento dell'occupazione, probabilmente a causa della creazione di nuove opportunità lavorative nei settori a bassa remunerazione, rivolte prevalentemente ai giovani.

In sintesi, l'analisi conferma che la banda ultra larga rappresenta un motore di crescita economica, con effetti significativi sull'occupazione e, in misura minore, sui salari. Tuttavia, i benefici derivanti dalle tecnologie di connessione avanzata, come FTTH, sono eterogenei e dipendono fortemente dalle caratteristiche territoriali e socioeconomiche delle regioni. Le aree meno sviluppate potrebbero necessitare di interventi più mirati e di

politiche aggiuntive per massimizzare i benefici economici della digitalizzazione. Questo studio offre quindi una base di dati utile per politiche regionali di sostegno alla digitalizzazione, evidenziando l'importanza di tener conto delle specificità locali per ottenere un effetto positivo omogeneo sull'intero territorio nazionale.

Sitografia

<https://www.camera.it>

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

<https://www.agcm.it/>

<https://www.statista.com/>

<https://www.agendadigitale.eu/>

<https://bandaultralarga.italia.it/>

<https://www.agendadigitale.eu/>

<https://www.mimit.gov.it/it/>

<https://www.gruppotim.it/it.html>

https://commission.europa.eu/index_it

<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en>

https://www.treccani.it/enciclopedia/ict_%28Dizionario-di-Economia-e-Finanza%29/

<https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/limpronta-ambientale-dellict-ecco-limpatto-dei-nostri-device-sul-pianeta/>

Bibliografia

- Akerman, Gaarder & Mogstad (2015), "The skill complementarity of Broadband Internet", National Bureau of Economic Research
- Belo, Ferreira & Telang (2014), "Broadband in School: Impact on Student Performance", Management Science
- Bhuller, Kostøl & Vigtel (2020), "How Broadband Internet Affects Labor Market Matching", IZA – Institute of Labor Economics
- Cambini & Sabatino (2023), "Digital highways and firm turnover", Journal of Economics & Management Strategy
- Cambini, Abrardi & Sabatino (2023), "The impact of ultra-fast broadband on labor income: an event study approach", Economics of Innovation and New Technology
- Cambini, Sabatino & Grinza (2023), "Ultra-fast broadband access and productivity: evidence from Italian firms", International Journal of Industrial Organization
- Campante, Durante & Sobbrino (2013), "Politics 2.0: The Multifaceted Effect of Broadband Internet on Political Participation, National Bureau of Economic Research
- Ciapanna & Sabbatini (2008), "La banda larga in Italia", Questioni di Economia e Finanza
- Comitato Interministeriale per la Transizione Digitale (2023), "Strategia italiana per la Banda Ultra Larga 2023-2026"
- Commissione europea (2024), "Raccomandazione (UE) 2024/539 della commissione del 6 febbraio 2024 sulla promozione normativa della connettività Gigabit", Gazzetta ufficiale dell'Unione europea
- Czernich (2014), "Does broadband internet reduce the unemployment rate? Evidence from Germany", Information Economics and Policy
- Czernich, Falck, Kretschmer & Woessmann (2011), "Broadband infrastructure and economic growth", The Economic Journal
- Denzer, Schank & Upward (2020), "Does the internet increase the job finding rate? Evidence from a period of expansion in internet use", Information Economics and Policy
- European Commission (2024), "How to master Europe's digital infrastructure needs?", White paper
- Falk & Hagsten (2021), "Impact of high-speed broadband access on local establishment dynamics", Telecommunications Policy

Foreman, Goldfarb & Greenstein (2012), "The Internet and Local Wages: A Puzzle", American Economic Review

Forzati & Pantalissi (2024), "Broadband investment handbook", European Commission

Gürtzgen, Diegmann, Pohland & van den Berge (2021), "Do digital information technologies help unemployed job seekers find a job? Evidence from the broadband internet expansion in Germany", European Economic Review

ITU and UNESCO (2024), "The State of Broadband: Leveraging AI for Universal Connectivity"

James H. Stock Mark W. Watson, Pearson Education Italia S.r.l. Introduzione

all'econometria (2005)

Mario Draghi (2024), "The future of European competitiveness. In-depth analysis and recommendations"

McDool, Powell, Roberts & Taylor (2020), "The internet and children's psychological wellbeing", Journal of Health Economics

Ministro per l'innovazione tecnologia e la transizione digitale (2021), "Strategia Italiana per la Banda Ultralarga: Verso la Gigabit Society"

Rohman & Bohlin (2012), "Does broadband speed really matter as a driver of economic growth? Investigating OECD countries", International Journal of Management and Network Economics

Valiucko, Feldmann, Khodabakhsh, Weber & Beck (2023), "Study on National Broadband Plans in the EU-27", European Commission