



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE E AZIENDALI
"MARCO FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA INTERNAZIONALE
L-33 Classe delle lauree in SCIENZE ECONOMICHE

Tesi di laurea

**La diffusione spaziale delle innovazioni: il caso delle celle
fotovoltaiche**

The spatial diffusion of innovation: the case of photovoltaic cells

Relatore:

Prof. ANTONIETTI ROBERTO

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Antonietti'.

Laureando:

ROBERT MICHELE

Anno Accademico 2015-2016

INDICE

Introduzione	3
Paragrafo 1: Teorie della diffusione nella letteratura	7
1.1 – <i>La curva a S di Tarde</i>	7
1.2 – <i>La tipologia di Ryan e Gross</i>	8
1.3 – <i>La teoria della diffusione di Rogers</i>	8
1.3.1 – <i>La curva a campana</i>	8
1.3.2 – <i>Il processo di adozione</i>	9
1.3.3 – <i>I fattori di successo di un'innovazione</i>	10
1.3.4 – <i>I canali di comunicazione</i>	11
1.4 – <i>Le critiche rivolte alla teoria di Rogers: La teoria dello iato</i>	11
1.5 – <i>Modelli matematici di diffusione dell'innovazione</i>	12
1.6 – <i>La teoria del “bandwagon pressure”</i>	13
1.7 – <i>I modelli spaziali</i>	14
1.8 – <i>I modelli reticolari</i>	14
1.9 – <i>La capacità di assorbimento delle imprese</i>	15
1.10 – <i>Le aspettative tecnologiche</i>	16
Paragrafo 2: Contesto sulla politica solare in Connecticut (CT-USA)	17
2.1 – <i>Connecticut Solarize Program</i>	18
2.2 – <i>Modelli spaziali di diffusione degli impianti fotovoltaici: Tassi di adozione in CT</i>	21
2.3 – <i>Hot spots e cold spots nella diffusione degli impianti fotovoltaici</i>	23
2.4 – <i>Modelli spaziali di diffusione nel corso del tempo</i>	25
Paragrafo 3: Approccio empirico	29
3.1 – <i>Creazione delle variabili di prossimità spazio-temporali</i>	29
3.2 – <i>Modello di domanda di sistemi fotovoltaici</i>	31

Paragrafo 4: Risultati	33
4.1 – <i>Risultati primari</i>	33
4.2 – <i>Effetti decrescenti nel tempo</i>	36
4.3 – <i>Democratici e repubblicani: a favore o contro le energie pulite?</i>	38
Conclusioni	41
Considerazioni finali	43
Bibliografia	44
Sitografia	45

Introduzione

L'innovazione si trova al centro delle trasformazioni economiche. E' un fenomeno complesso con molteplici aspetti (tecnologici, sociali, economici, politici...), ma soprattutto è un fenomeno dinamico, caratterizzato da cambiamenti di lungo periodo con effetti profondi sull'evoluzione dell'economia. Dalle imprese è vista come lo strumento per aumentare profitti e quote di mercato; dai governi come mezzo per migliorare l'economia del paese, e dai privati come miglioramento delle proprie condizioni di vita.

Ampio spazio è stato dato nella letteratura allo studio della diffusione delle innovazioni, con creazione di modelli e teorie.

Nel **primo paragrafo** vengono spiegate queste teorie, partendo dai primi studi nel 1900 con la curva ad S di Tarde, passando attraverso la tipologia di Ryan e Gross (1943), arrivando al punto centrale con la teoria di Rogers (1962), che nonostante presenti dei limiti rimane un punto saldo dello studio sulla diffusione delle innovazioni. Tali limiti verranno evidenziati (a volte superati) dalle critiche rivolte a Rogers da altri autori: ad esempio Moore (1991) con la teoria dello iato e Bass (1969) con il suo modello matematico di diffusione.

Il **secondo paragrafo** tratta la diffusione spaziale delle innovazioni, con particolare riguardo al caso del fotovoltaico nel Connecticut (USA). Un impianto fotovoltaico è un impianto elettrico costituito essenzialmente dall'assemblaggio di più moduli fotovoltaici che sfruttano l'energia solare incidente per produrre energia elettrica mediante effetto fotovoltaico.

Il fotovoltaico (PV) può essere un'alternativa sostenibile alle risorse non rinnovabili e ai combustibili fossili che causano il cambiamento climatico. Pertanto, capire i fattori che influenzano la decisione di adottare questa tecnologia è fondamentale per aumentarne la diffusione. Lo scopo di questo studio è indagare alcuni di questi fattori. In generale, come vedremo, la decisione di adottare una tecnologia potrebbe essere ostacolata dall'incertezza riguardo, per esempio, l'affidabilità della tecnologia e il suo valore attuale netto. Come disse Rogers (1983): *“poiché i sistemi fotovoltaici sono altamente osservabili, installazioni circostanti precedenti possono diminuire l'incertezza dell'utilità di un impianto fotovoltaico, facendo vedere ai potenziali adottatori che sono compatibili con le norme in vigore, facili da adottare e indubbiamente efficaci”*.

Tramite un valido uso di politiche statali lo Stato del Connecticut (CT) ha centrato l'obiettivo di abbassare il livello di incertezza, incentivando lo sviluppo di progetti di energia rinnovabile. Programmi statali come ad esempio il Connecticut Renewable Portfolio Standard (RPS), che incentiva finanziariamente lo sviluppo di progetti di energia rinnovabile; il CEFIA (Clean

Energy Finance and Investment Authority) che ha il compito di sviluppare programmi che sfruttino capitale privato per creare finanziamenti sostenibili per efficienza energetica ed energia pulita; il Solarize Program, un programma basato sulla comunità che permette di abbassare il costo di adozione degli impianti fotovoltaici.

La chiave del successo del CT avuto nel campo del fotovoltaico non risiede solo nell'aver saputo utilizzare efficacemente la politica dello Stato per promuovere l'adozione del sistema fotovoltaico (Solarize program) ma anche nell'aver sfruttato i cosiddetti *peer e neighbor effects*. Uno studio di M. Graziano – K. Gillingham (2014) rileva una forte correlazione tra l'impianto fotovoltaico della propria abitazione e la probabilità che un vicino adotterà tale tecnologia. Conosciuto come effetti tra pari, il risultato è semplice: "In un certo senso, è il cosiddetto "Keeping up with the Joneses", ha detto Kenneth Gillingham, co-autore dello studio. Tenere il passo con i Joneses è un idiomma di lingua inglese riferito al confronto con il prossimo (il vicino) come un punto di riferimento per la classe sociale o l'accumulo di beni materiali. Fallire nel tentativo di tenere il passo è percepito come una dimostrazione di inferiorità socio-economico o culturale.

Lo studio potrebbe aiutare una serie di sostenitori del solare a indirizzare meglio i loro sforzi, dai servizi pubblici e regolatori fino alle installazioni di terze parti.

Viene esaminato come l'impatto tra pari diminuisce con il tempo e la distanza e potrebbe potenzialmente influenzare il modo di pubblicizzare da parte degli installatori o i modi in cui un gruppo di comunità solare potrebbe organizzarsi.

Verranno successivamente analizzati i modelli di diffusione di sistemi PV nel CT utilizzando approcci geo-statistici che evidenzieranno come la loro diffusione tende a espandersi da centri medio-piccoli con uno schema a percorso centrifugo.

Nel **terzo paragrafo** è descritto l'approccio empirico utilizzato. Tramite la creazione di variabili di prossimità spazio-temporali si evidenziano le installazioni precedenti rilevanti che si ipotizza influenzeranno la decisione delle famiglie di adottare un sistema fotovoltaico.

Mentre per esaminare i fattori che influenzano l'adozione viene creato un modello di domanda di sistemi fotovoltaici contenente variabili di controllo. Sono prese in considerazione variabili quali, l'ambiente circostante, la demografia, la socioeconomia e l'affiliazione politica.

Utilizzando una analisi panel data degli effetti di vicinanza sulle adozioni si trovano prove concrete dell'importanza dei *peer effects* sulle successive adozioni.

I risultati indicano che l'aggiunta di un nuovo sistema all'interno di 0.5 miglia (0.8km) da altri

adottatori aumenta il numero di installazioni nella zona per ogni trimestre di 0,44 sistemi fotovoltaici in media.

Il **quarto paragrafo** elenca i risultati ottenuti che mostrano i fattori principali che hanno influenzato la diffusione del solare in CT. Essi suggeriscono la presenza di effetti di vicinanza spaziale. E' interessante notare come i risultati siano coerenti con lo studio effettuato da Bollinger e Gillingham (2012) e con gli studi di Muller e Rode (2013).

Va evidenziato che questi ultimi trovano sì degli effetti di vicinanza spaziale, ma ritengono che essi si esauriscano dopo circa 1.2 km, mentre vedremo che nonostante la grandezza del coefficiente diminuisce con la distanza, l'effetto è ancora statisticamente ed economicamente significativo in un raggio limite di 4 miglia (circa 6 km). Altre variabili risulteranno invece non statisticamente rilevanti.

Paragrafo 1

Teorie della diffusione nella letteratura

La diffusione di una nuova tecnologia è un processo dinamico, che spesso presenta un modello spaziale caratteristico nel tempo. Senza la diffusione un'innovazione avrebbe un impatto socio-economico limitato. Con diffusione in ambito di innovazioni si intende il processo con cui il singolo o l'impresa adottano una nuova tecnologia senza predecessori (all'interno di una società o di un'economia) oppure sostituiscono una vecchia tecnologia con una nuova.

La determinante più importante dei benefici che derivano dall'adozione di una nuova tecnologia è il grado di miglioramento che essa offre rispetto alla tecnologia precedente e con che grado di facilità questi benefici siano identificabili dall'adottatore.

Dunque una spiegazione della possibile lentezza nell'adozione di una tecnologia risiede nel fatto che il vantaggio relativo delle nuove tecnologie è spesso piuttosto limitato al momento della loro prima introduzione.

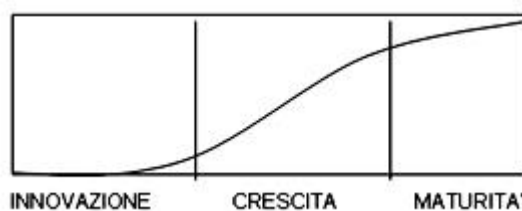
L'incertezza nell'acquisto è spesso dovuta al fatto che i benefici normalmente sono diluiti nel tempo mentre i costi devono essere affrontati subito, e ciò rende necessario stimare la durata del ciclo vitale della tecnologia. L'incertezza rallenta il tasso di adozione.

Riguardo la diffusione dell'innovazione si è sviluppato un filone di studi che concentra l'attenzione sui fattori che determinano modalità, ritmi e barriere relativi all'acquisizione delle nuove soluzioni tra gli imprenditori, le istituzioni o anche i consumatori.

Nel seguente paragrafo, partendo dalle prime teorie elaborate agli inizi del '900, passando attraverso le tesi di Everett Rogers (che in questo settore rappresenta il principale autore di riferimento), si arriverà alle teorie più recenti, spesso incentrate sul tentativo di superare alcuni limiti dell'impostazione data da Rogers all'analisi dei fenomeni di diffusione.

1.1 La curva a S di Tarde

I primi studi sui processi di diffusione dell'innovazione sono da attribuire al sociologo francese G. Tarde (1903), che rilevò come la diffusione delle idee avveniva secondo una curva ad S, che consente di distinguere tre fasi (innovazione, crescita e maturità).



Costruendo un grafico e ponendo su un asse il numero di adottatori di un nuovo prodotto e sull'altro asse il tempo, la curva risultante sarà a forma di S. Questo comporta che nella prima fase, l'innovazione incontra molti ostacoli a diffondersi; nella seconda fase, quella di crescita, tuttavia, essa tende a diffondersi rapidamente, fino a giungere alla terza fase, quella della maturità; il mercato si satura e i ritmi di diffusione rallentano.

1.2 La tipologia di Ryan e Gross

Negli anni '40, B. Ryan e N. Gross (1943) effettuano studi empirici sulla diffusione delle sementi ibride nell'Iowa confermando le tesi di Tarde. La diffusione dell'innovazione si configura come un processo sociale, in cui entrano in gioco le valutazioni soggettive degli imprenditori. Ryan e Gross identificano **cinque categorie** di soggetti in base al loro atteggiamento rispetto all'innovazione, vale a dire:

- gli innovatori (*innovators*);
- gli anticipatori (*early adopters*);
- la maggioranza anticipatrice (*early majority*);
- la maggioranza ritardataria (*late majority*);
- i ritardatari (*laggards*).

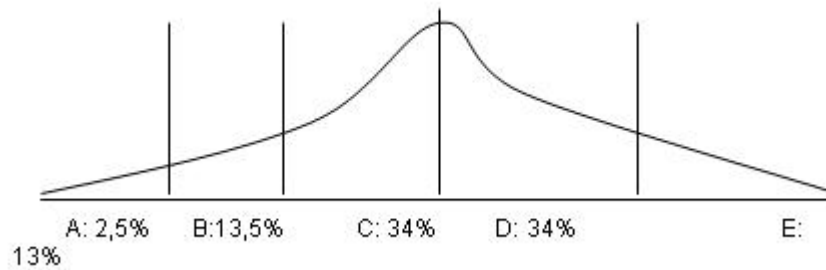
1.3 La teoria della diffusione di Rogers

L'autore che maggiormente ha contribuito allo sviluppo degli studi sulla diffusione dell'innovazione è Everett Rogers.

1.3.1 La curva a campana

All'inizio degli anni '60, E. Rogers riprese la *tipologia* di Ryan e Gross, cercando di identificare, per ognuna delle categorie, le caratteristiche distintive. Egli mostrò come gli anticipatori (*early adopters*) e coloro che appartenevano alla maggioranza anticipatrice (*early majority*) fossero maggiormente inseriti nei meccanismi di comunicazione locale e avessero una più elevata capacità di assumere un ruolo di *opinion leader*. Questo spinse Rogers a identificare il **processo di diffusione come essenzialmente di natura comunicativa**, in cui entrano in gioco caratteristiche e orientamenti personali.

Più che una curva a S, Rogers propose una curva "a campana".



Secondo Rogers:

- il gruppo A è quello degli **innovatori**, caratterizzati da alto livello di istruzione, orientamento al rischio, controllo su fonti finanziarie, abilità specifiche nella comprensione e nella applicazione delle conoscenze tecniche ed esposti a più fonti di informazione;
- il gruppo B include gli **anticipatori** (*early adopters*), dotati di alti livelli di istruzione, elevata reputazione nella comunità, capacità di svolgere una funzione di leadership sociale e con esperienze di successo alle spalle;
- il gruppo C include la **maggioranza anticipatrice** (*early majority*), caratterizzata da soggetti che hanno una forte interazione con i pari; spesso ricoprono posizioni di leadership e hanno una tendenza a seguire un processo deliberativo prima di adottare una nuova idea;
- il gruppo D include la **maggioranza ritardataria** (*late majority*), comprendente soggetti normalmente scettici, tradizionalisti, con uno status economico basso, prudenti e che patiscono molto la “pressione” sociale esercitata dai pari;
- il gruppo E, infine, include i **ritardatari** (*laggards*) ed è composto da individui normalmente isolati, sospettosi, con relazioni sociali ridotte (solo vicini o parenti), con un processo di *decision making* lento e dotati di risorse limitate.

1.3.2 Il processo di adozione

L'adozione si configura come un processo caratterizzato da cinque momenti:

- **consapevolezza** (*awareness*) l'individuo è esposto all'innovazione, senza detenere informazioni in proposito;
- **interesse** (*interest*) l'individuo dispone di prime informazioni e mostra il desiderio di ottenerne altre;

- **valutazione** (*evaluation*) l'individuo cerca di immaginare l'utilità futura dell'innovazione
- **prova** (*trial*) l'individuo sperimenta l'innovazione;
- **adozione** (*adoption*), l'individuo decide di applicare completamente l'innovazione.

In ogni fase del processo, l'innovazione può essere rifiutata. Il rifiuto può essere, secondo Rogers, attivo o passivo. Il **rifiuto attivo** (*active rejection*) si verifica quando il potenziale adottatore prende in considerazione la possibilità di assumere l'innovazione, mentre il **rifiuto passivo** (*passive rejection*) si ha quando il rigetto avviene negli stadi iniziali del processo decisionale e quindi prima che il soggetto prenda effettivamente in considerazione la possibilità di adottare l'innovazione.

Il rifiuto non va confuso con l'atto di interrompere il ricorso all'innovazione dopo la sua adozione, denominato da Rogers "**discontinuance**". La *discontinuance* può avvenire, secondo l'autore, o a causa dei risultati non soddisfacenti dell'innovazione (*disenchantment discontinuance*) o perché si adotta un'innovazione migliore (*replacement discontinuance*).

1.3.3 I fattori di successo di un'innovazione

Rogers (1985), fornisce cinque categorie di analisi per classificare gli attributi di un'innovazione che influenzano i potenziali adottatori.

- **Vantaggio relativo** (*Relative advantage*): L'innovazione deve essere percepita come migliore rispetto alle soluzioni già disponibili. Il grado di "vantaggio relativo" può essere misurato in termini economici, ma altre componenti entrano in gioco, quali i fattori di prestigio locale, la convenienza o la soddisfazione personale.
- **Compatibilità** (*Compatibility*): L'innovazione deve essere percepita come coerente rispetto ai valori esistenti, all'esperienza precedente e ai bisogni di chi la deve adottare.
- **Complessità** (*Complexity*): grado in cui un'innovazione è percepita come difficile da comprendere e da utilizzare. Le innovazioni facili da capire si diffondono più rapidamente di quelle complesse.
- **Sperimentabilità** (*Triability*): L'innovazione deve avere caratteristiche tali da poter essere sperimentata su basi limitate. Innovazioni "non divisibili" (che devono cioè essere assunte nel loro complesso, senza poter essere testate) si diffondono con minore velocità.

- **Osservabilità** (*Observability*). L'innovazione che produce risultati visibili ha maggiori possibilità di diffusione.

1.3.4 I canali di comunicazione

Secondo Rogers la diffusione è essenzialmente un processo di comunicazione e i canali di comunicazione giocano un ruolo fondamentale. Essi sono di due tipi: la **comunicazione personale** e la comunicazione **attraverso i media**.

Rogers ritiene che l'influenza personale sia molto più rilevante di quella dei mass media. Questi ultimi, hanno il potere di **informare**, ma il potere di **persuadere** è molto debole rispetto a quello che caratterizza la comunicazione personale.

I canali di comunicazione attraverso cui passa l'innovazione sono legati al sistema sociale in cui sono inseriti. Nel determinare il grado di diffusione, Rogers, indica una serie di condizioni esterne o sociali che possono accelerare o rallentare il processo di diffusione:

- le **norme** sociali dominanti (ad esempio, quelle vigenti all'interno di un sistema organizzativo);
- la presenza di **opinion leader**, che influenzano le decisioni;
- l'esistenza di “**agenti del mutamento**” (*change agents*) e di “aiutanti del cambiamento” (*change aides*), cioè soggetti che fanno avanzare l'innovazione all'interno del sistema sociale, svolgendo differenti funzioni, quali sostenere un bisogno di cambiamento, favorire la circolazione delle informazioni, identificare l'esistenza di problemi che possono essere affrontati attraverso l'innovazione o sostenere una stabilizzazione del processo di adozione.

1.4 Le critiche rivolte alla teoria di Rogers : La teoria dello iato

G. Moore (1991), riprendendo le tesi di Rogers e applicandole al mercato delle tecnologie high-tech, rintraccia un limite nell'analisi delle differenti categorie di *adopters*. Secondo Moore, Rogers coglie il processo di adozione della tecnologia (*technology adoption life cycle*) **come se si trattasse di un processo continuo**, senza sbalzi o interruzioni. In realtà, secondo Moore, non è così. In particolare, le prime due categorie identificate da Rogers (*innovators e early adopters*) hanno caratteristiche molto differenti rispetto alle altre tre categorie (*early majority, late majority e laggards*). Moore rileva uno **iato** (*chasm*), una interruzione, tra gli *early adopters* (ridefiniti *visionaries*) e la *early majority* (ridefiniti *pragmatists*). I primi hanno un sistema di

aspettative molto elevate, hanno una visione ottimistica e positiva rispetto all'innovazione, mentre i secondi sono pragmatici, poco inclini al rischio e hanno un sistema di aspettative molto più basso.

Secondo Moore, molte innovazioni nel campo delle tecnologie si “arenano” proprio nel passaggio in cui la diffusione deve cominciare a coinvolgere i *pragmatists*.

1.5 Modelli matematici di diffusione dell'innovazione

Un ulteriore limite delle tesi di Rogers è che esse, basandosi sull'analisi dei fattori che influenzano l'adozione di una singola innovazione da parte di un singolo individuo, hanno **scarso valore predittivo**.

Per superare questo limite, F. Bass (1969) ha elaborato un modello (oggi ampiamente adottato nelle previsioni di mercato), denominato *Bass Diffusion Model*, che riprende parte delle tesi di Rogers, identificando tre fattori:

- le **potenzialità del mercato**: il numero totale di persone che possono adottare l'innovazione;
- il **coefficiente di influenza esterna** (o di innovazione): la probabilità che qualcuno che ancora non sta adottando l'innovazione inizi a farlo sotto l'influenza dei mass media o di altri fattori esterni;
- il **coefficiente di influenza interna** (o di imitazione): la probabilità che qualcuno che ancora non sta adottando l'innovazione inizi a farlo sulla base del passa-parola o di altre forme di influenza diretta da parte di chi sta già utilizzando il prodotto.

Il modello presuppone che, in un primo momento, la diffusione avvenga lentamente, per l'azione degli agenti di cambiamento. A un certo punto, si verifica una accelerazione nella diffusione, che si attiva dopo il raggiungimento di una massa critica di adozioni (tra il 5 e il 15% del mercato potenziale).

Facendo muovere queste tre variabili, il modello consente di “prevedere” la forma della curva di diffusione. Ad esempio, nel caso in cui il grado di imitazione sia maggiore del grado di innovazione, la curva di diffusione assume la forma a S mentre nel caso inverso quello di una J rovesciata.

A partire dagli studi di Bass sono stati sviluppati, a partire dagli anni '80, numerosi **modelli**

matematici. Secondo V. Mahajan e R. Peterson (1985), tali modelli, in linea generale, si possono dividere in tre famiglie:

- quelli che identificano nell'**influenza interna** (l'interazione personale) il fattore prioritario;
- quelli che identificano nell'**influenza esterna** (i media) il fattore prioritario;
- i modelli misti.

I modelli prevalenti sono quelli che del primo tipo, quelli cioè che rilevano come le informazioni più efficaci e rilevanti siano quelle fornite da chi ha già adottato l'innovazione nell'ambito di relazioni interpersonali. Si parla, in proposito, di "**modelli epidemici**", vale a dire quelli che presuppongono una diffusione "per contagio". Il principale assunto di questi modelli è che le innovazioni sono sempre migliori delle soluzioni già praticate, per cui la lentezza della loro diffusione o la presenza di modalità sbilanciate o incoerenti di diffusione dipende essenzialmente dalla mancanza o dalla ineguale distribuzione di informazioni all'interno del sistema sociale.

1.6 La teoria del "bandwagon pressure"

L. Rosenkopf e E. Abrahamson (1999) hanno elaborato un modello fondato sul concetto di "bandwagon" (trend popolare).

La teoria del *bandwagon* tende a opporsi alle tesi della teoria della scelta efficiente. Secondo quest'ultima, una organizzazione adotta una innovazione sulla base di una valutazione in merito alla sua validità, utilizzando le informazioni di cui dispone (complete o incomplete che siano). Secondo gli autori, tuttavia, ogni atto decisionale avviene in un contesto di **ambiguità** in merito all'informazione sull'innovazione. Per "ambiguità", si può fare riferimento a tre condizioni possibili: **ambiguità di stato** (*state ambiguity*), cioè incertezza in merito al futuro stato dell'ambiente in cui l'organizzazione opera; **ambiguità degli effetti** (*effects ambiguity*), vale a dire incertezza in merito agli effetti che il futuro stato dell'ambiente produrrà sull'organizzazione; **ambiguità di risposta** (*response ambiguity*), ovvero incertezza in merito alla validità delle risposte date dall'organizzazione rispetto allo stato futuro dell'ambiente.

Nelle condizioni di ambiguità, si attivano allora altri criteri di valutazione, denominati *fad-theories*, **teorie di moda**, che non fanno leva sui contenuti dell'innovazione, bensì sulla lettura dei segnali sociali relativi al comportamento degli altri attori.

Ad esempio, se attori di alta reputazione adottano l'innovazione, il numero degli *adopters* aumenta e si crea una pressione sociale perché l'innovazione si diffonda. La *bandwagon pressure*, in tal modo, assume il carattere di **pressione istituzionale**, in conseguenza della quale l'adozione dell'innovazione diviene una norma sociale. Tutto questo si connette anche con una **pressione competitiva**, per cui si adotta un'innovazione per paura di perdere in competitività.

1.7 I modelli spaziali

Alcuni autori hanno lavorato sui **rapporti di prossimità** come fattori causale della diffusione. L'iniziatore di questo approccio è stato il geografo T. Hagerstrand (1952; 1967), il quale, studiando le modalità di diffusione del grano ibrido in Svezia, ha rilevato quanto la prossimità giochi un ruolo decisivo nella diffusione. Attraverso fotografie aeree, egli mostrò che la diffusione del grano ibrido avveniva attraverso agglomerati e modelli di prossimità e non casualmente, a dimostrazione del peso dell'interazione diretta tra vicini nel processo di diffusione. Hagerstrand introduce la nozione di **fronte dell'innovazione**, come appunto il fronte di propagazione spaziale di un'innovazione.

1.8 I modelli reticolari

Altri autori si sono incentrati sulla *network analysis* e sul concetto di rete. A differenza dei modelli matematici, di tipo macro-economico, quelli reticolari presuppongono che la **forma**, l'**estensione** e le **modalità di funzionamento delle reti** di relazione tra attori incidono sulle condizioni (tempi, ritmi, forme, ecc.) di diffusione di una tecnologia.

Secondo T.W. Valente (1996), un soggetto tenderà ad adottare una innovazione in rapporto al numero dei membri del suo network personale che lo hanno già fatto. Questo significa che i meccanismi di adozione potranno essere diversi per ogni potenziale *adopter*, in quanto i network personali variano per dimensione e per caratteristiche ogni volta. Per ciascun potenziale adopter, pertanto, vi sarà una differente "**soglia di adozione**" (*adopter threshold*). Ad esempio, Valente sostiene che i soggetti con un'attitudine a svolgere la funzione di *opinion leader* hanno soglie più basse di adozione: il numero di persone presenti nelle loro reti di relazioni che hanno già adottato l'innovazione, necessario per spingerli a compiere la stessa scelta, è più basso rispetto a coloro che hanno un'attitudine gregaria (*followers*). Valente sostiene che sia possibile applicare le categorie degli *adopters* elaborate da Ryan e Gross sia al livello del sistema sociale, sia al livello di rete. Anche nella rete personale, è

possibile identificare gli anticipatori, una maggioranza anticipatrice, una maggioranza ritardataria e i ritardatari assoluti. Studiare come si superi la soglia di attivazione dell'adozione consente di comprendere meglio i meccanismi generali di diffusione e le interazioni tra le influenze esterne e quelle interne di rete.

Molti studiosi hanno invece assunto un **approccio topologico**, cercando di identificare le caratteristiche dei network che maggiormente incidono sulla rapidità di innovazione. Ad esempio, W. Mason, A. Jones e R. Goldstone (2005) sottolineano come la lunghezza media dei percorsi (*average geodesic path length*) presenti nel network (vale a dire il numero medio di passaggi necessari per raggiungere due nodi) rappresenti una misura più esplicitiva della velocità di diffusione di un'innovazione rispetto al grado medio di connessione (*node average degree*) di ogni nodo (vale a dire il numero medio di connessioni che legano un nodo a un altro).

1.9 La capacità di assorbimento delle imprese

Un altro filone di studi relativo alla diffusione delle innovazioni, sviluppatosi nell'ambito del *business management*, ruota intorno al concetto di “**absorptive capacity**” di una impresa, vale a dire la sua capacità di riconoscere il valore, assimilare e utilizzare nuova conoscenza.

Il concetto, elaborato da W. Cohen e D. Levinthal (1990), si basa su un modello teorico il quale presuppone che:

- ogni innovazione sia identificabile come **nuova conoscenza**;
- la conoscenza è un **bene pubblico o semi-pubblico**, nel senso che può essere trasmessa senza compensazione e senza danneggiare chi, consapevolmente o inconsapevolmente, la trasmette (la conoscenza ha il carattere della replicabilità);
- le imprese assumono conoscenze da **altre istituzioni** (imprese, enti di ricerca, ecc.) (*knowledge spillovers*);
- il **grado di appropriazione** di una nuova conoscenza da parte di un'impresa dipende dal livello della sua “absorptive capacity”.

I fattori che entrano in gioco nella determinazione del grado di assorbimento di un'impresa sono differenti (Vinding, 2001). Il principale elemento che determina la capacità di assorbimento di un'impresa è rappresentato dalla **conoscenza** di cui dispone. Tale capacità pertanto è primariamente dipendente da fattori quali la quantità e la qualità delle attività di ricerca e

sviluppo realizzate dall'impresa, gli investimenti in ricerca o il capitale umano a disposizione. Importante è anche il bagaglio di **esperienze** capitalizzate dalla istituzione o dal personale, rilevante soprattutto per l'acquisizione di conoscenze tacite.

Un'altra variabile è la **struttura organizzativa**. Ad esempio, un'efficace gestione dei punti di contatto tra le differenti funzioni dell'impresa (marketing, produzione, gestione del personale, management strategico, ecc.) incrementa la capacità di assorbimento dell'impresa. Un ulteriore elemento messo in rilievo che favorisce un aumento della capacità di assorbimento di una istituzione è costituito dalle sue **reti di relazione**. Più queste saranno ampie e strette, più aumenta la capacità dell'istituzione.

Perché una conoscenza possa passare da un'impresa a un'altra (ad esempio, nel caso di un'impresa e di una sua collegata) o da un'istituzione a un'altra (ad esempio, da un'università a un'impresa), è necessario che la **capacità di assorbimento delle due entità sia compatibile**, vale a dire che la capacità di gestire conoscenza sia simile.

1.10 Le aspettative tecnologiche

A partire dagli studi di N. Rosemberg (1976), si è sviluppato un ampio filone di studi sulla diffusione dell'innovazione che si basa sul concetto di "**aspettativa tecnologica**" (*technological expectation*).

Secondo questa impostazione teorica, i tempi di assunzione di un'innovazione e la scelta della stessa innovazione da adottare derivano dal **tipo di aspettative** che l'impresa ha rispetto alle tecnologie.

In effetti, la teoria economica classica dà per scontato che i soggetti puntino sempre ad applicare la tecnologia migliore. Al contrario, le aspettative tecnologiche di un imprenditore o di un'impresa possono essere differenti. Ad esempio, essi possono puntare su tecnologie intermedie (*intermediate technologies*) che consentano di ridurre il gap tecnologico rispetto alla frontiera tecnologica (*technological frontier*) raggiunta, senza tuttavia dover modificare l'intera impostazione organizzativa dell'impresa.

I modelli basati sulle aspettative tecnologiche, pertanto, presuppongono **differenti tipi di comportamento**, rispetto a quella della "adozione immediata della tecnologia migliore" o rispetto a quella del "rifiuto immediato della tecnologia migliore". Tra le varie opzioni, ad esempio, vi è quella di aspettare senza operare, quella di scegliere una tecnologia intermedia come opzione tecnologica definitiva o quella di preferire una tecnologia intermedia, aspettando di prendere una decisione definitiva.

Paragrafo 2

Contesto sulla politica solare in Connecticut (CT-USA)

Il Connecticut è uno dei 50 Stati federati che compongono gli Stati Uniti d'America, ed è situato sulla costa nord-orientale, nella regione del New England. A nord confina con il Massachusetts, a ovest con New York e a est con il Rhode Island. La capitale è Hartford. Lo stato è suddiviso in 8 contee per una popolazione totale di 3.5 milioni di abitanti e presenta un PIL di 237 milioni di \$ e un PIL pro-capite di 54 mila \$. Le temperature variano da circa -2° in inverno a circa 31° in estate. Moderatamente soleggiato, presenta un clima temperato umido subtropicale (classificazione dei climi di Koppen) con una insolazione paragonabile al nord Italia.

Nonostante sia uno Stato ricco sotto molti punti di vista, lo stacco tra il reddito delle aree urbane e extraurbane è alto: diverse città dello Stato figurano tra le più povere della nazione (e tra le più pericolose). La relativa frammentazione delle aree popolate causa un costo notevole in termini di erogazione di energia elettrica che ricade sui consumatori.

Se confrontato con gli stati più meridionali, è evidente come il Connecticut abbia meno irraggiamento solare, ma nonostante ciò risulta sorprendentemente adatto per il solare, con alti prezzi dell'energia elettrica, una popolazione relativamente dispersa con molti tetti adatti alle installazioni e poche altre fonti di energia rinnovabili disponibili in loco.

Ma il fattore decisivo è stato indubbiamente il governo del Connecticut che ha supportato la tecnologia solare fotovoltaica, con programmi statali ambiziosi.

Fornitori elettrici e società di distribuzione in CT hanno il compito di incontrare un portfolio di standard rinnovabili [Renewable Portfolio Standard (RPS)] che richiede che il 23% di energia elettrica sia generata da fonti energetiche rinnovabili entro il 2020.

Il Connecticut Renewable Portfolio (RPS) è una politica di Stato che crea un incentivo finanziario per lo sviluppo di progetti di energia rinnovabile, garantendo un mercato e un flusso costante di reddito per i generatori rinnovabili.

I proprietari di progetti di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili che si qualificano in una delle tre classi di RPS del Connecticut ricevono un certificato di energia rinnovabile (REC) per ogni megawattora (MWh) di energia elettrica che producono. Questi REC sono beni negoziabili che permettono l'acquisto dell'attributo ambientale delle energie rinnovabili, venduto separatamente dalla merce stessa (l'energia). Un generatore rinnovabile può contrattare per vendere la sua energia - "in bundle" quindi insieme con il valore di attributo di accompagnamento direttamente ad un fornitore di energia elettrica (di solito ad un premio al di

sopra del prezzo all'ingrosso dell'energia elettrica), oppure può separare "unbundle" REC e l'energia e li vendono separatamente nei mercati all'ingrosso regionali.

Inoltre, l'Atto Pubblico 11-80 (del CT) del 2011 richiede al CT Clean Energy Finance and Investment Authority (CEFIA) di sviluppare programmi che conducano ad almeno 30 MW di nuovo solare fotovoltaico residenziale entro il 31 dicembre 2022.

CEFIA è stato fondato nel 2011 per sviluppare programmi che sfruttassero il capitale del settore privato per creare a lungo termine, finanziamenti sostenibili per efficienza energetica ed energia pulita per sostenere settori residenziali, commerciali e industriali, attuazione di efficienza energetica e misure di energia pulita.

CEFIA raccoglie e gestisce un database con caratteristiche tecniche e finanziarie dettagliate di tutti i sistemi fotovoltaici residenziali adottati in stati che hanno ricevuto un incentivo dalla fine del 2004. La banca dati, aggiornata mensilmente, contiene caratteristiche dettagliate degli impianti fotovoltaici per quasi tutte le installazioni in CT.

I programmi CEFIA coinvolgono incentivi statali, che hanno iniziato a \$ 5 / W nel 2005 e sono attualmente \$ 1.25 / W per i residenti che posseggono sistemi fino a 5kW (c'è uno schema di incentivi simile per i sistemi di proprietà di terze parti), così come una serie di programmi basati sulla comunità per promuovere sistemi fotovoltaici.

2.1 Connecticut Solarize program

Questi programmi basati sulla comunità, iniziati nel 2012, designano le città '*Solarizzate*' (*Solarize City*) che scelgono un programma di installazione preferita, ricevono un gruppo di acquisto che abbassa il prezzo con più impianti e ricevono una intensiva campagna con sessioni di informazione e pubblicità locale.

La prima fase del programma ha coinvolto quattro città, successivamente ampliate a cinque entro marzo 2013. A partire da Febbraio 2014, il programma coinvolge 30 città partecipanti delle 169 in tutto lo Stato, ed è stato molto efficace nell'aumentare il numero di impianti in queste città.

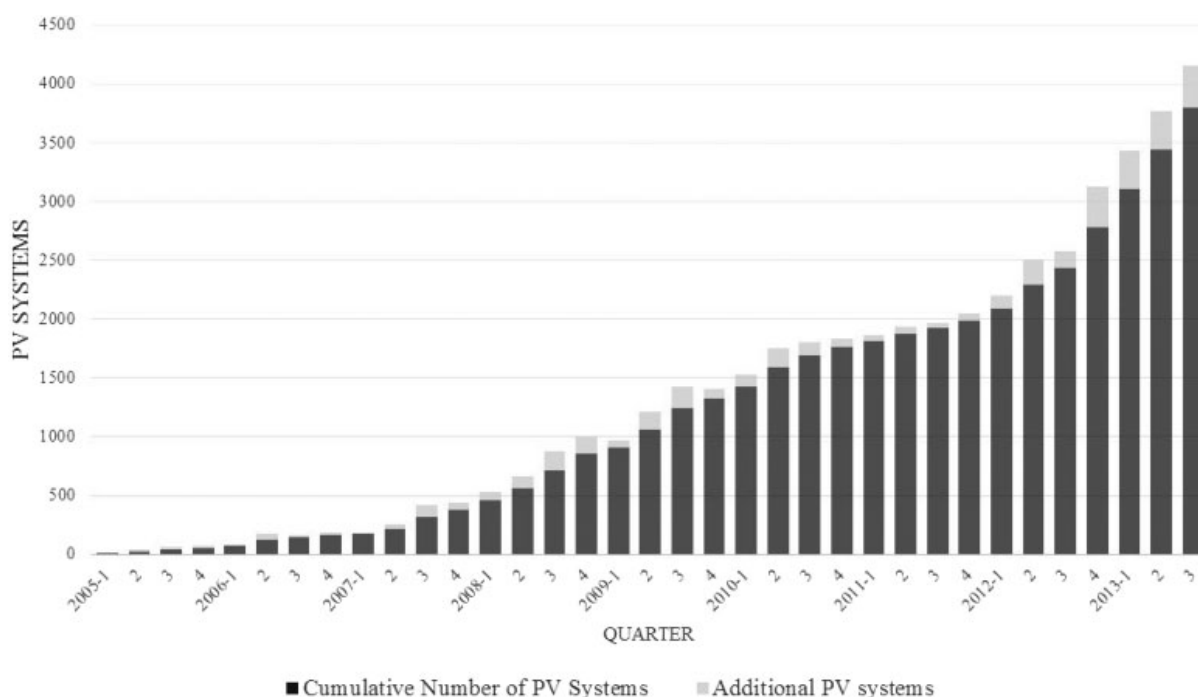
Due variabili sono particolarmente importanti per questo studio: la data di installazione e l'indirizzo. Utilizzando le informazioni di indirizzo, sono stati geo-codificati con successo 3833 sistemi fotovoltaici che sono stati installati in CT dal 2005 alla fine di settembre 2013, a livello di Census Block Group, delle 3843 installazioni nel database.

Il Census Block Group è la più piccola unità geografica utilizzata dal United States Census Bureau per la quale l'ufficio pubblica i dati del campione, vale a dire i dati che vengono raccolti solo da una frazione di tutte le famiglie. In genere, i Block Groups hanno una popolazione che varia da 600 a 3.000 persone.

Nonostante una lieve riduzione dei nuovi sistemi nel 2011, i residenti del CT hanno costantemente adottato un numero crescente di sistemi fotovoltaici residenziali ciascun trimestre, come mostrato in Figura 1.

Negli ultimi quattro trimestri per i quali sono disponibili i dati, le adozioni sono in media 340 per trimestre, ovvero un aumento del 11,7% da un trimestre all'altro.

Figura 1. Adozioni totali e addizionali di sistemi PV nel tempo. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 819]



L'analisi viene effettuata a livello del Census Block Group, che è il livello più disaggregato per il quale sono disponibili variabili chiave, come il reddito medio familiare.

Sono presi in considerazione 2574 block groups in CT.

I dati del censimento includono altre variabili come ad esempio la densità abitativa, il numero di case, la quota di affittuari e il tasso (trimestrale) medio di disoccupazione che permette di controllare la "salute" dell'economia nel periodo studiato. Viene incluso il prezzo medio annuo di energia elettrica in tutto lo Stato dall'anno precedente in modo da tenere conto delle modifiche dei prezzi dell'energia elettrica, che possono influenzare l'attrattiva dei sistemi fotovoltaici. La densità abitativa viene calcolata dividendo la popolazione per superficie territoriale.

La superficie territoriale utilizzata è 'ALAND' disponibile dal Map and Geographic Information Center (MAGIC) presso l'Università del Connecticut (MAGIC, 2013).

'ALAND' non è il campo ideale perché ci possono essere usi del suolo, che non dovrebbero essere inclusi (ad esempio zone umide e foreste), e non evidenzia differenze locali nei tipi di alloggio. Tuttavia, coglie abbastanza bene le differenze più ampie in materia di alloggi attraverso i block groups, con una maggiore densità abitativa in centro città e una diminuzione della densità abitativa man mano che ci si allontana.

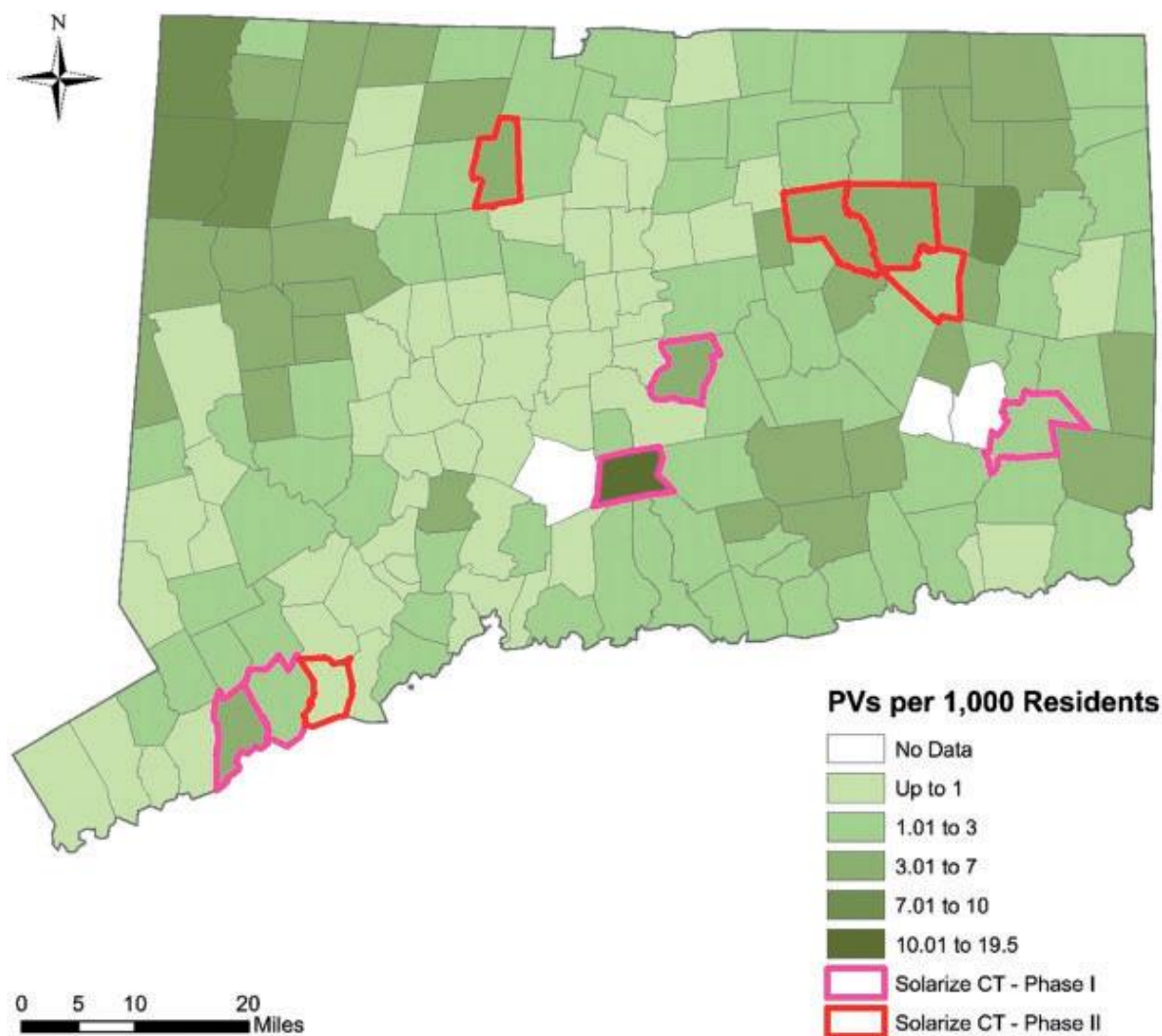
Per esaminare i fattori che influenzano i modelli di diffusione dei sistemi fotovoltaici, si combinano dati spaziali (livelli GIS e dati mappa) con i dati di adozione contenuti nel CEFIA Solar database. Le fonti per i dati spaziali utilizzati sono il Dipartimento CT dell'Energia e Protezione Ambientale (Deep, 2013) e il patrimonio di dati dell'Università del Connecticut MAGIC.

2.2 Modelli spaziali di diffusione impianto fotovoltaico: Tassi di adozione in CT

La diffusione dei sistemi fotovoltaici mostra modelli spaziali sorprendenti in tutto il CT.

La Figura 2 mostra la densità dei sistemi fotovoltaici a livello cittadino da settembre 2013.

Figura 2. Densità dei sistemi PV e Fase I e II del programma Solarize CT. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 821]



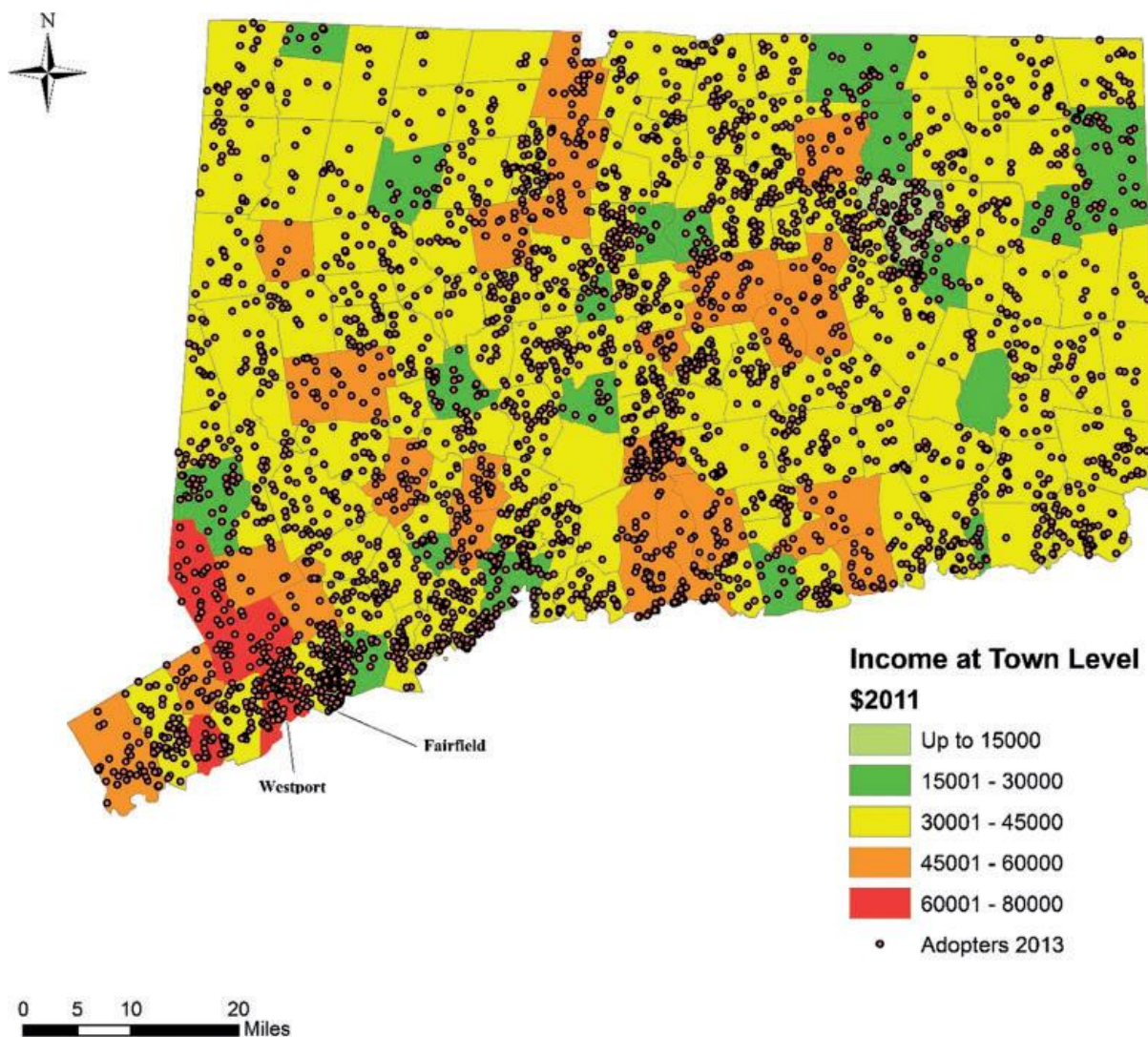
Le aree superiori dello Stato mostrano maggiore densità pro-capite, con la parte nord occidentale del CT che registra i valori più elevati. Queste città sono per lo più comunità rurali o semi-rurali, con una forte presenza di case di vacanza per i residenti di New York e le aree Greater Boston.

Nella parte centro-meridionale dello Stato, la città di Durham (facente parte della Fase I del programma Solarize) mostra uno dei tassi più alti di adozione dello Stato.

L'adozione del sistema fotovoltaico non segue del tutto i modelli di reddito in CT.

Ad esempio, la zona sud-occidentale dello Stato ospita alcuni dei comuni più ricchi negli Stati Uniti, tuttavia mostra un minore tasso di adozione rispetto a città molto meno ricche del sud-est del CT. Questo può essere visto chiaramente in figura 3.

Figura 3. Sistemi PV e reddito medio familiare. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 822]



2.3 Hot spots e cold spots nella diffusione impianti fotovoltaici

Per un quadro più chiaro della posizione dei gruppi di agglomerazione dei sistemi fotovoltaici, si utilizzano due tecniche spaziali: metodo ottimizzato Getis-Ord (OGO) e la cluster-outlier analisi di Anselin (COA) (Anselin, 1995; Getis e Ord, 1992; Ord e Getis, 1995). Queste tecniche forniscono indicazioni sui fattori che influenzano l'adozione, identificando un accumulo di gruppi (clusters) e mappandoli nei confronti di altri fattori spaziali. Viene utilizzato l'ESRI ArcMap 10.2. Specificato il campo di analisi lo strumento creerà una mappa indicante le aree con cluster di rilevanza statistica sia per valori alti (hot spot: rossi) sia per valori bassi (cold spot: blu)

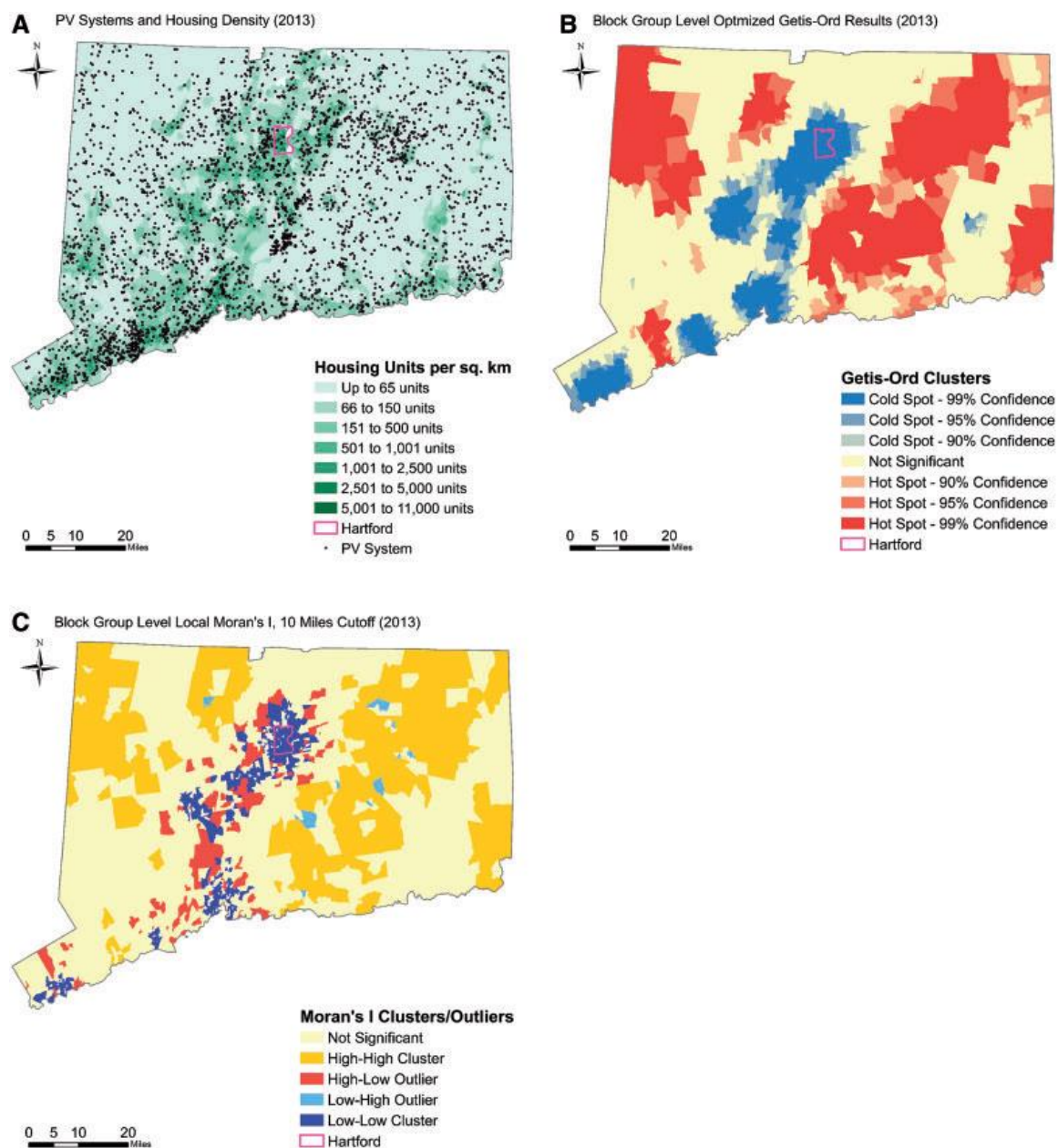
La scala utilizzata è a livello di block group; pertanto, usiamo il centro geografico (centroide) di ogni block group come punto di riferimento.

Queste metodologie (OGO e COA) sono sensibili ai parametri di input, per cui ciascuna viene testata con soglie differenti, a partire dal raggio di 1 miglio (1.6 km) attorno ad ogni baricentro dei block groups, fino alla distanza limite di 10 miglia (16 km).

Appaiono piccole differenze nei risultati. Figura 4 presenta i risultati dell'analisi spaziale.

Figura 4. Distribuzione spaziale dei punti caldi e freddi dei sistemi PV utilizzando approcci diversi. (A) Sistemi PV e la densità abitativa; (B) Metodo (OGO); (C) Metodo COA. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 824]

pp. 824]



La figura 4(A) mostra la densità abitativa in CT nei block groups del censimento e i sistemi fotovoltaici geo-codificati; figura 4(B) presenta i risultati del metodo OGO; e la figura 4(C) mostra i risultati del metodo COA.

La capitale del CT, Hartford, è evidenziata come una città di riferimento in tutte le mappe.

I risultati sono coerenti tra le metodologie: c'è un raggruppamento di hot spots nelle zone nord-orientale, centro-orientale e sud-orientale del CT.

Si nota un hot spot nella contea di Fairfield (sud-ovest del CT), mentre il centro dello Stato presenta un raggruppamento di cold spots, che corrisponde alle aree urbane più densamente popolate come New Haven, Bridgeport, Meriden e Waterbury.

È interessante notare, che sembrano esserci cold spots anche in alcune delle aree più ricche del CT nel sud-est, che comprende città come Greenwich e Stamford.

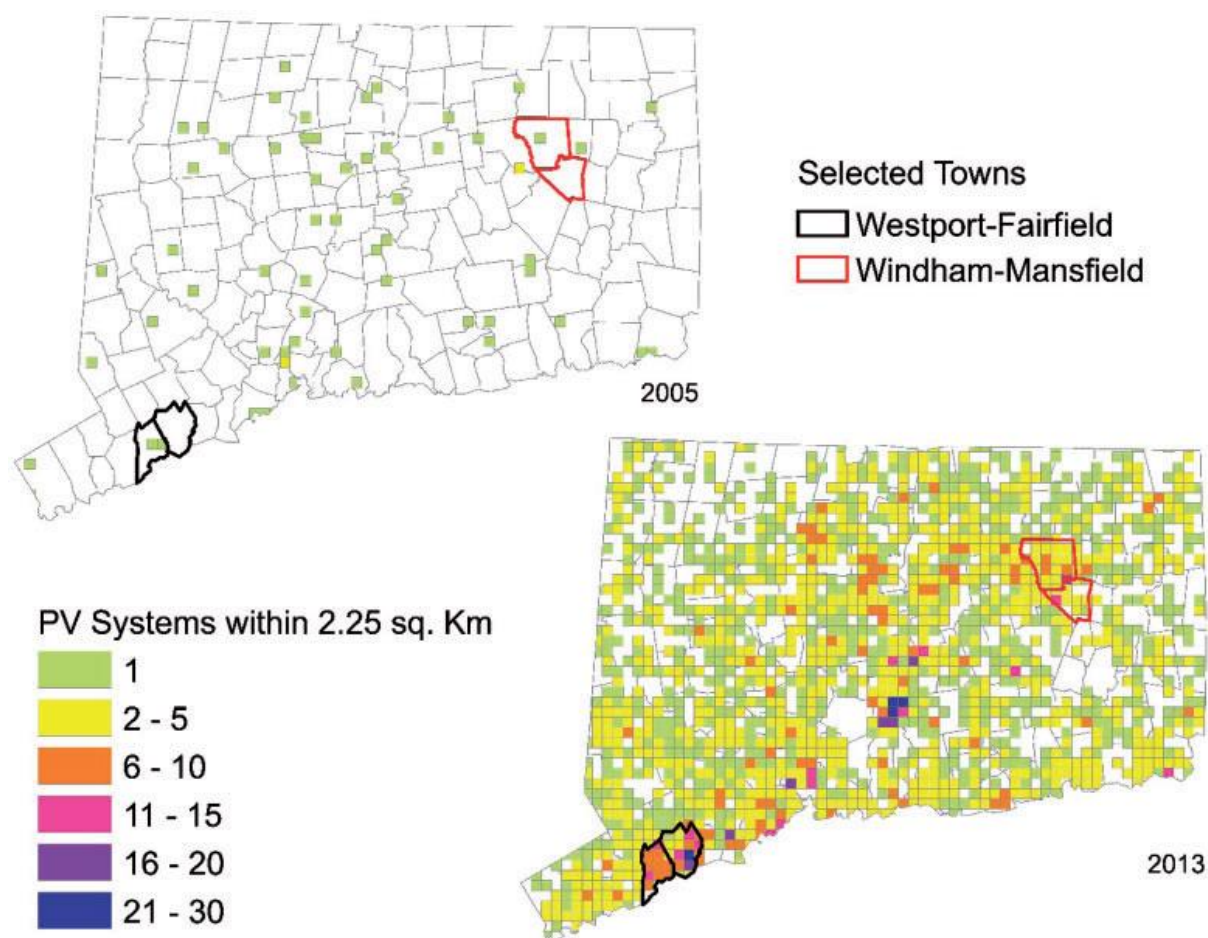
Questi primi risultati non significano che il reddito non svolge alcun ruolo nel processo di adozione. Piuttosto, suggerisce che le politiche finalizzate esclusivamente a ridurre il costo di sistemi fotovoltaici non sono sufficienti per accelerare l'adozione di sistemi fotovoltaici.

2.4 Modelli spaziali di diffusione nel corso del tempo

Per esaminare il modello di diffusione nel tempo e nello spazio, viene utilizzata una metodologia denominata fishnetting (Mitchell, 2005). Dividiamo il CT in cellule di una dimensione specifica: 1.5 km ovvero una lunghezza che sia abbastanza piccola da dividere in modo efficace i dati ottenuti a livello di Block Groups ma allo stesso tempo abbastanza grande da rilevare più di una adozione per cella.

La Figura 5 illustra l'analisi per l'adozione alla fine del 2005 e alla fine del gruppo di dati nel 2013.

Figura 5. La metodologia fishnetting rivela il modello di adozione di sistemi PV tra il 2005 e il 2013. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 825]



Ogni cella colorata mostra il numero effettivo di impianti all'interno di 2.25km quadrati. Nella Figura 5, si segnalano due aree: Westport-Fairfield (contorno nero) e Windham-Mansfield (contorno rosso/grigio).

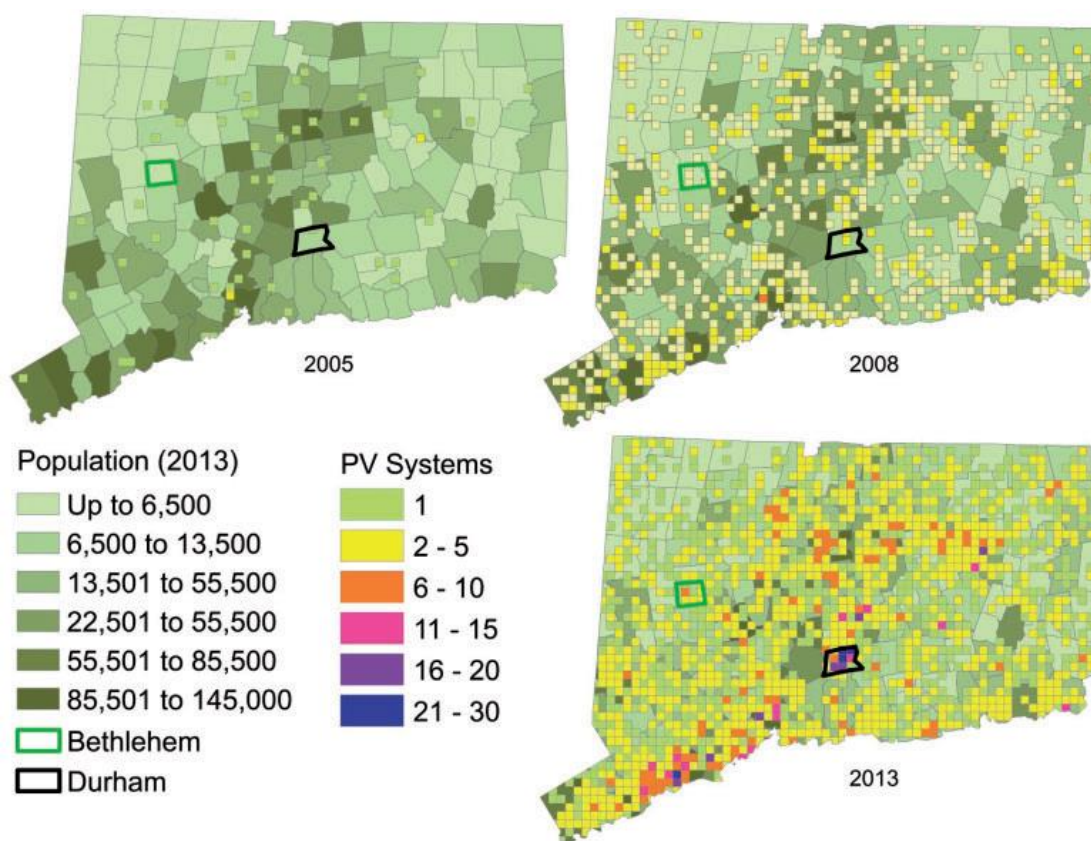
In Westport-Fairfield, si nota il caso di una città che già presentava adozioni del sistema fotovoltaico nel 2005, e queste adozioni si sono moltiplicate sostanzialmente entro l'inizio del 2013. Al contrario, Windham-Mansfield non aveva adozioni nel 2005 e aveva avuto pochissime adozioni in città vicine.

Tuttavia, con il notevole impulso fornito dalla Fase II del programma Solarize, le due città ora hanno un'altissima densità di impianti fotovoltaici, con un massimo di 24 adozioni in 4,5 miglia quadrate. Questi esempi evidenziano i fattori che influenzano le dinamiche del processo di diffusione in CT: aree che già presentavano installazioni sembrano avere una densità crescente di adozione, mentre allo stesso tempo programmi come Solarize possono aumentare drasticamente il numero di sistemi fotovoltaici in una località in poco tempo.

L'approccio fishnetting è adatto anche per testare l'ipotesi che la diffusione di sistemi fotovoltaici segue lo schema tipico di diffusione dei centri maggiormente popolati.

Per esaminare la relazione spaziale tra popolazione e l'adozione di impianti fotovoltaici, si confrontano con una mappa la popolazione della città insieme con la rete delle adozioni dei sistemi fotovoltaici per il 2005, 2008 e il 2013 in figura 6.

Figura 6. Il modello spaziale di adozione non segue semplicemente la distribuzione della popolazione; persino negli stadi iniziali di adozione dei sistemi PV la diffusione proviene dai centri urbani medio-piccoli. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 826]



Se il processo di adozione di sistemi fotovoltaici segue la letteratura classica esibendo un modello a onde a percorso centrifugo basato sulle più grandi città, ci si aspetterebbe di vedere una concentrazione iniziale all'interno delle più grandi città nello Stato, con le adozioni che moltiplicano all'interno di queste aree e che si diffondono nelle città più piccole nel corso del tempo.

Naturalmente, non tutte le tecnologie sono uguali, e i sistemi fotovoltaici potrebbero visualizzare un modello differente di diffusione.

Si nota che i sistemi fotovoltaici non si diffondono solo dai centri più grandi, ma anche da molte medie e piccole città.

Ad esempio, si consideri Durham, nel CT centro-meridionale, con una popolazione di 7388 abitanti, che è circa un terzo della media statale di 21.300 residenti per cittadina. Durham ha ospitato uno dei primi impianti fotovoltaici, e, a partire dal settembre 2013 ha il più alto numero di impianti fotovoltaici nello Stato (143), grazie, in parte, al programma Solarize di CT.

In effetti, il programma Solarize CT sembra rafforzare il ruolo dei centri di medie dimensioni, costruendo sul raggruppamento che ha iniziato prima del programma. I nuovi centri di agglomerazione appaiono nel corso del tempo in zone che presentavano installazioni nel 2005.

La città di Bethlehem (popolazione 3607 abitanti) non aveva nemmeno un singolo impianto fotovoltaico nel 2005, e neppure una città vicina che ne avesse uno. Entro la fine del 2008, la città aveva ancora pochissime adozioni. Entro il 2013 aveva 23 impianti fotovoltaici. È interessante notare, che le altre città intorno a Bethlehem hanno seguito l'esempio, aumentando il numero di sistemi fotovoltaici, e forse è indicativo di un modello di diffusione centrifuga.

Perché si potrebbero vedere le medie e piccole città in qualità di centri per la diffusione del sistema fotovoltaico, in contrasto con i risultati classici?

La combinazione delle caratteristiche tecniche dei sistemi fotovoltaici insieme con l'ambiente circostante e l'ambiente istituzionale in CT forniscono spiegazioni plausibili.

Gli impianti fotovoltaici sono più adatti per case unifamiliari, a causa del grande spazio del tetto e la mancanza di incentivi divisi che le abitazioni multifamiliari devono affrontare. Molte delle case unifamiliari in CT che sono adatte per impianti fotovoltaici si trovano in comunità più piccole. Inoltre, i regolamenti locali e le tasse hanno un'influenza importante sulla velocità e sulla difficoltà di installazione di un impianto fotovoltaico. Una nuova amministrazione locale pro-solare può accelerare il processo di installazione di un impianto fotovoltaico e fornire un esempio per le città vicine. Questo potrebbe cambiare rapidamente una città da una città con poche adozioni a centro di onde di diffusione. Il programma Solarize ha il potenziale per fare lo stesso.

Naturalmente, un diverso insieme di regolamentazioni, caratteristiche socio-economiche e tecnologiche creerebbero probabilmente un modello ben diverso.

Nella sezione successiva, si analizza un modello empirico progettato per esplorare i fattori che sono alla base dei modelli di diffusione spaziali osservati finora.

Paragrafo 3

Approccio empirico

3.1 Creazione delle variabili di prossimità spazio-temporali

Un fattore importante che può mediare la diffusione del fotovoltaico è la presenza di effetti spaziali vicini. Al centro di questo approccio empirico si trova la metodologia di creazione di variabili spazio-temporali per catturare l'influenza sulle adozioni derivante da precedenti installazioni vicine. Per ogni richiesta di sistema fotovoltaico nel database, registriamo il numero di impianti fotovoltaici che sono stati precedentemente completati entro un raggio di installazione da 0.5, 1 e 4 miglia.

Eseguiamo il calcolo registrando il numero di impianti all'interno di ogni raggio nei 6, 12 e 24 mesi precedenti l'installazione dal 2005 (vi erano pochissimi impianti prima del 2005 nel CT). Togliamo anche altri impianti la cui richiesta si è verificata entro 120 giorni precedenti ad ogni osservazione (k). Questo evita completamente la simultaneità (o riflessione), e riduce notevolmente la probabilità che la decisione di installare sia fatta prima che alcuni degli altri vicini abbiano scelto di installare. In altre parole, per ogni impianto fotovoltaico k , viene contato il numero di impianti vicini (j), tale che:

$$d_{k,j} \leq D,$$

$$t_k - t_j \leq T \text{ or } t_k \geq t_j,$$

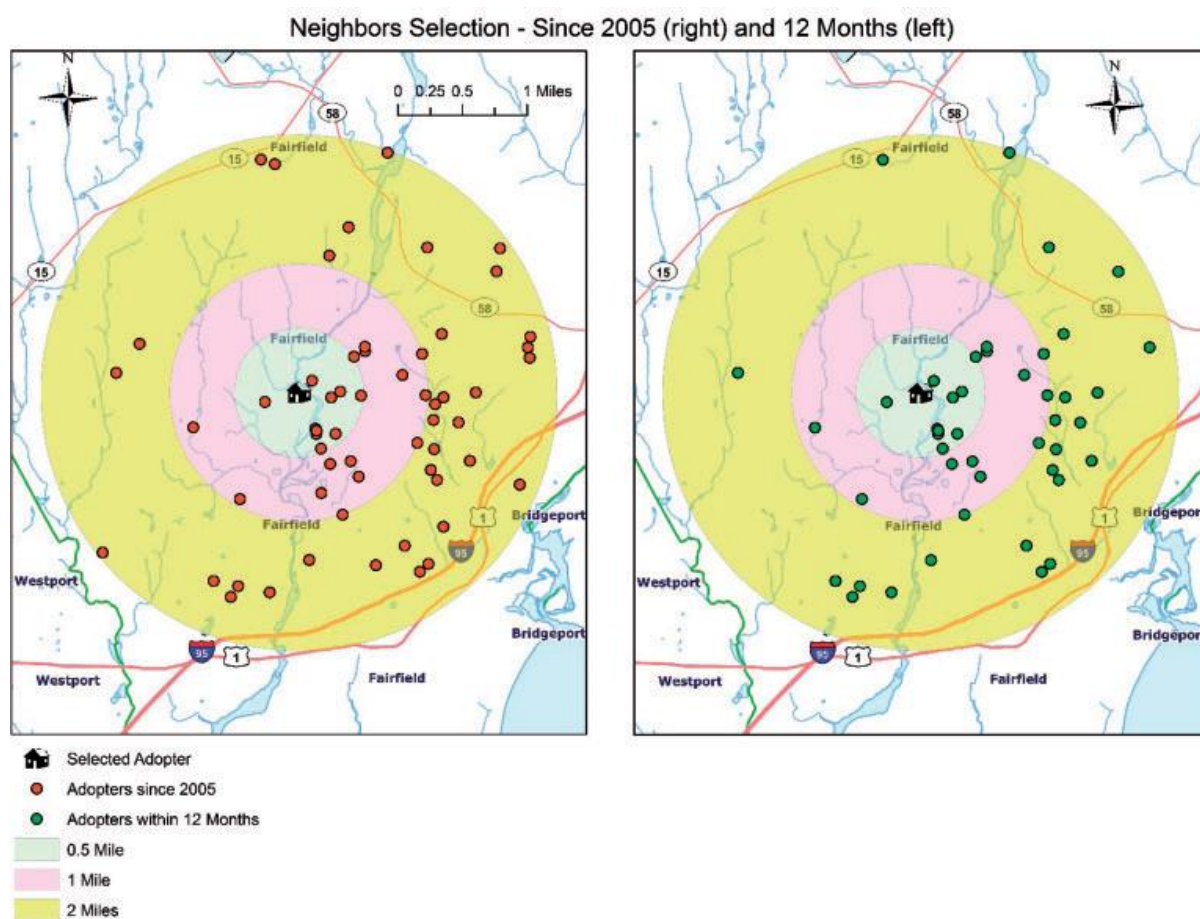
e

$$t_k - t_j > W$$

dove $d_{k,j}$ è la distanza euclidea (in piedi) tra sistemi fotovoltaici k e j , D è la specificazione della distanza (2640, 5280 o 21120 piedi), t_k è la data di richiesta del sistema fotovoltaico k , t_j è la data di richiesta del sistema fotovoltaico j , T è il ritardo temporale (ad esempio 6 mesi) e W è la finestra temporale di installazioni che si presume siano state decise contemporaneamente (ad esempio 120 giorni).

Per esaminare più precisamente l'effetto ad ogni distanza, sottraiamo le distanze interne dal raggio esterno, per vedere l'effetto entro 0,5 miglia, da 0,5- a 1 miglio e da 1 miglio a 4 miglia. Questo approccio è un metodo di buffer ad anelli multipli, dove i buffers sono sia spaziali che temporali, come illustrato graficamente in figura 7.

Figura 7. Selezione di tutti i vicini dal 2005 (figura di sinistra) e nei 12 mesi precedenti (figura a destra). [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp. 828]



Questi conteggi spazio-temporali di sistemi fotovoltaici circostanti catturano le installazioni precedenti rilevanti che si ipotizza influenzeranno la decisione delle famiglie di adottare un sistema fotovoltaico.

Infine si convertono queste variabili a livello di block group calcolando la media del conteggio spazio-temporale in quel block group per ciascuno dei raggi e ciascuno dei periodi.

Ciò fornisce una misura utile del numero medio di vicini che stanno influenzando nuovi utilizzatori in un block group. Ad esempio, Bollinger e Gillingham (2012) usano variabili per il numero cumulativo di installazioni in aree identificate tramite codice postale, che definiscono “*installed base*”, così come il numero cumulativo di installazioni su una strada per codice postale. Stime basate sul codice postale possono essere soggette a un errore di misura, perché c'è un pregiudizio evidente per le famiglie ai margini dei codici postali. Inoltre, i codici postali sono molto più grandi dei block group.

Muller e Rode (2013) evitano questo potenziale errore di misura esaminando la distanza tra 286 edifici geo-codificati con sistemi fotovoltaici a Wiesbaden, in Germania. Nonostante il piccolo campione, questo è un miglioramento rispetto ad una analisi effettuata a livello di codice postale

o a livello stradale. Tuttavia, dal punto di vista spaziale, sono stati introdotti diversi errori possibili: problemi con geo-codifica hanno portato ad assegnare 149 dei sistemi fotovoltaici ad edifici nelle vicinanze e 38 impianti fotovoltaici che erano secondi o terzi impianti su questi edifici sono stati invece assegnati a edifici vicini anziché essere assegnati all'edificio sul quale sono collocati.

L'approccio utilizzato da Gillingham è un compromesso utile che consente ad una analisi panel data dei block group di affrontare le problematiche di identificazione di effetti tra pari, e allo stesso tempo sfruttare un'attenta analisi spaziale per ridurre l'errore di misurazione spaziale.

3.2 Modello di domanda di sistemi fotovoltaici

Per esaminare i fattori che influenzano l'adozione, si modella la domanda di sistemi fotovoltaici residenziali in un block group (i), al tempo (t) come funzione di una varietà della struttura economica, demografica, appartenenza politica, ambiente circostante, politica e numero di “installed base”.

La specificazione può essere scritta come segue:

$$PVcount_{i,t} = \alpha + N_{i,t}\beta + B_{i,t}\gamma + D_{i,t}\theta + \pi S_{i,t} + \mu_i + \phi_t + \varepsilon_{i,t}$$

Dove $PVcount_{i,t}$ è il numero di nuove adozioni di sistemi fotovoltaici nel block group i al tempo t ; $N_{i,t}$ è un vettore di variabili spazio-temporali dei vicini descritte in precedenza (sono state eseguite regressioni separate per 12 mesi precedenti e 24 mesi precedenti); $B_{i,t}$ è un vettore di variabili di ambiente circostante; $D_{i,t}$ è un vettore di variabili socio-economiche, demografiche e affiliazione politica; $S_{i,t}$ è una variabile indicatore se un block group è o non è parte di una campagna di Solarize CT al tempo t ; μ_i è l'effetto fisso del block group; ϕ_t è la dummy temporale; $\varepsilon_{i,t}$ è un errore a media zero.

Si considera il numero di nuove adozioni in un trimestre (cioè 2005Q1), quindi t è il trimestre. Inoltre, viene anche esaminata una specificazione con effetti fissi del block group a semestre (i due semestri sono definiti da gennaio a giugno e da luglio a Dicembre).

Il vettore $D_{i,t}$ contiene variabili per il tasso di disoccupazione medio trimestrale per catturare le condizioni economiche generali, il prezzo dell'energia elettrica (in gran parte costante all'interno regione di utilità nel corso del tempo), età media, una dummy per l'età media presente nel 5% più vecchio del campione per cogliere raggruppamenti di anziani, la percentuale di popolazione di colore bianco, percentuale della popolazione di colore nero, percentuale della popolazione asiatica, reddito medio delle famiglie, percentuale di iscritti che sono democratici

e la percentuale di elettori che sono registrati a soggetti terzi (ad esempio, il Partito dei Verdi o Libertarian Party).

Il vettore delle variabili di ambiente circostante $B_{i,t}$ comprende la densità abitativa, il numero di case e la quota di affittuari. Queste variabili controllano le differenze nel numero di famiglie disponibili per l'installazione di impianti fotovoltaici. Infine, gli effetti fissi del block group e dummy temporali sono fondamentali per il controllo di eterogeneità non osservata a livello del block group e nel tempo. Ad esempio, gli effetti fissi del block group controllano qualsiasi non osservabile variazione non temporale specifica del block group, come un'installazione solare che ha sede in quella posizione. Le dummy temporali aiutano il controllo per più ampie tendenze in maggiori adozioni nel corso del tempo a causa di prezzi più bassi e una maggiore consapevolezza degli impianti fotovoltaici.

Paragrafo 4: Risultati

4.1 Risultati primari

Siamo particolarmente interessati al vettore di parametri β , che ci dice in che misura quali degli effetti di vicinanza spaziale influenzano la decisione di adottare sistemi fotovoltaici. Inoltre, siamo interessati a molti degli altri coefficienti che possono aiutarci a capire meglio l'influenza sulla decisione di adottare un sistema fotovoltaico, di un diverso ambiente circostante, socio-economico, appartenenza politica e fattori demografici. Nella tabella 1, presentiamo i risultati principali utilizzando la variabile spazio-temporale che comprende le installazioni nei 6 mesi precedenti.

Colonna 1 presenta i risultati OLS con variabili dummy trimestrali di controllo per la modifica delle tendenze nel mercato dei sistemi fotovoltaici, ma senza effetti fissi.

Colonna 2 aggiunge effetti fissi del block group per controllare anche l'eterogeneità non osservata a livello di block group.

Colonna 3 presenta i risultati con effetti fissi del block group, variabili dummy annuali e un trend temporale lineare interagito con ogni variabile dummy annuale per affrontare la possibilità di una sottostante tendenza continua che è correlata con le variabili spazio-temporali.

Infine, colonna 4 presenta i risultati preferiti, che includono gli effetti fissi semestrali del block group in modo da affrontare flessibilmente eventuali variabili inosservabili.

Tabella 1 Caratteristiche primarie compresi i 6 mesi precedenti di installazioni. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp 832]

	Year-quarter dummies	BG FE and year-quarter dummies	BG FE and time trends	BG-year- semester FE
	(1)	(2)	(3)	(4)
Average neighbors within 0.5 miles	0.51*** (0.0110)	0.49*** (0.0996)	0.49*** (0.0996)	0.44*** (0.1000)
Average neighbors 0.5–1 mile	0.38*** (0.0106)	0.38*** (0.0828)	0.38*** (0.0828)	0.39*** (0.0832)
Average neighbors 1–4 miles	0.11*** (0.0016)	0.11*** (0.0227)	0.11*** (0.0227)	0.12*** (0.0224)
Number of housing units (1000 s)	0.032*** (0.0024)	0.014** (0.0065)	0.014** (0.0065)	0.0017 (0.0310)
Housing density (0.001 s)	0.0066*** (0.0008)	0.0091*** (0.0016)	0.0091*** (0.0016)	0.0014 (0.0097)
Renter-occupied houses (%)	0.00029*** (0.0000)	0.00045*** (0.0001)	0.00045*** (0.0001)	0.00011 (0.0004)
Median household income (\$10,000)	0.00048** (0.0002)	0.00058 (0.0005)	0.00058 (0.0005)	0.0038 (0.0047)
Population who are white (%)	0.00025** (0.0001)	0.00019* (0.0001)	0.00019* (0.0001)	0.00014 (0.0004)
Population who are black (%)	0.000035 (0.0001)	0.00024* (0.0001)	0.00024* (0.0001)	0.00024 (0.0004)
Population who are Asians	0.00067*** (0.0002)	0.00022 (0.0003)	0.00022 (0.0003)	0.00075 (0.0008)
Median age	0.00023 (0.0001)	0.00014 (0.0002)	0.00014 (0.0002)	0.00096 (0.0008)
Median age in highest 5%	0.0074** (0.0034)	0.0081 (0.0051)	0.0081 (0.0051)	0.014 (0.0137)
Democrats (%)	0.000056 (0.0001)	0.000061 (0.0003)	0.000061 (0.0003)	0.00031 (0.0012)
Population in minor parties (%)	0.0017 (0.0016)	0.0046 (0.0029)	0.0046 (0.0029)	0.0096 (0.0090)
Electricity cost (Cent/kWh)	0.0028 (0.0017)	0.0030*** (0.0009)	0.0036*** (0.0009)	0.00072 (0.0014)
Unemployment (%)	0.00071 (0.0011)	0.00092 (0.0007)	0.000097 (0.0009)	0.00027 (0.0019)
Solarize CT	0.80*** (0.0114)	0.77*** (0.1127)	0.77*** (0.1127)	0.87*** (0.2001)
Constant	0.073** (0.0336)	0.058*** (0.0209)	0.064*** (0.0183)	0.0039 (0.0681)
R ²	0.25	0.24	0.24	0.19
Observations	90,090	90,090	90,090	90,090

Guardando attraverso le specifiche, i risultati mostrano prove che suggeriscono un effetto spaziale di vicinanza.

Indipendentemente dal fatto che includiamo effetti fissi del block group, o effetti fissi trimestrali del block group o trend temporali, le variabili spazio-temporali sono positive, statisticamente significative e di una grandezza simile.

Questo risultato dimostra che il numero medio di impianti circostanti il gruppo familiare aumenta il numero di adozioni in quel block group.

Ad esempio, nella colonna 4, il coefficiente del numero dei vicini nel raggio di 0,5 miglia indica che un'ulteriore installazione vicina entro 0,5 miglia (0,8 km) durante gli ultimi 6 mesi aumenta il numero di installazioni del block group per ogni trimestre di 0,44 sistemi fotovoltaici in media. Al numero medio di block groups in un città (15), ciò implica 26.4 sistemi fotovoltaici supplementari per città a causa dell'effetto di vicinanza spaziale.

Inoltre, la variazione dei risultati con la distanza è intuitivo.

I coefficienti sono generalmente più piccoli quando si considerano impianti che sono più lontani, come tra 0,5 e 1 miglio e tra 1 e 4 miglia. Questi risultati sono coerenti con Bollinger e Gillingham (2012), che trovano evidenza di un effetto più forte di installazioni vicine a livello stradale rispetto a livello di codice postale. In contrasto con Rode e Weber (2013), e Muller e Rode (2013), l'effetto tra pari spaziale non sembra svanire dopo 1 o 1,2 km. Mentre la grandezza del coefficiente diminuisce con la distanza, è ancora statisticamente ed economicamente significativo nel range di 1-4 miglia.

Questo risultato può essere spiegato in parte da una differenza di un'area geografica. Wiesbaden, la città studiata da Muller e Rode (2013), è una zona urbana con una densità di popolazione quasi il doppio della densità di popolazione in CT (CIA, 2013; Statistik Hessen, 2013). Inoltre, il sistema di trasporto e mobilità fisica è abbastanza diverso: CT ha 0,86 veicoli per abitante, mentre Wiesbaden ha solo 0,52 (DOE, 2013; World Bank, 2013).

Potremmo aspettarci che gli effetti tra pari spaziali possano essere più deboli, ma che si estendano su una superficie maggiore, quando i potenziali adottanti tendono a spostarsi più lontano per svolgere le loro normali interazioni sociali. I risultati evidenziano anche il ruolo importante delle variabili d'ambiente circostante. Coerentemente con l'analisi geospaziale, la densità abitativa sembra diminuire l'adozione. Allo stesso modo, la quota di affittuari diminuisce l'adozione.

Questi risultati sono coerenti con la presenza di problemi di divisione di incentivi in abitazioni multifamiliari e affittuarie occupate (Bronin, 2012; Gillingham et al, 2012; Gillingham e Sweeney, 2012). In abitazioni multifamiliari di proprietà, potrebbe non essere possibile prevenire il free ridership (senza utenza) e recuperare i costi di installazione. Allo stesso modo, quando il padrone di casa paga per l'energia elettrica in un accordo di noleggio, il proprietario potrebbe non essere in grado di contrattare con l'affittuario per pagare il costo dell'impianto.

Anche quando l'affittuario paga per l'energia elettrica, ci possono essere ancora barriere: l'affittuario non può avere il permesso di installare un impianto fotovoltaico e non può pianificare di rimanere nella dimora abbastanza a lungo perché l'impianto fotovoltaico ripaghi sé stesso.

I risultati sono meno statisticamente significativi quando si tratta di altre variabili socio-economiche e demografiche. Ci sono prove deboli che l'aumento medio del reddito familiare aumenti le adozioni, e la cosa non deve sorprendere, data la complicata relazione spaziale tra reddito e adozione di impianto fotovoltaico. Le variabili razziali sono in gran parte non statisticamente significative, con solo debole prova di maggiori adozioni quando vi è una maggiore percentuale di bianchi nel block group. Le variabili di appartenenza politica e il tasso di disoccupazione non sono statisticamente significative.

Il prezzo dell'elettricità è positivo e statisticamente significativo nelle colonne 2 e 3, e positivo nelle colonne restanti. Il risultato nella colonna 2 può essere interpretato come indicatore che un aumento di \$ 1 nel costo dell'elettricità aumenta il numero di adozioni in un block group e in un trimestre di 0,3 ulteriori installazioni.

La variabile dummy campagna Solarize ha un effetto statisticamente significativo e positivo sulle adozioni. Il risultato nella colonna 4 suggerisce che la presenza di un programma Solarize in un block group porta a 0,87 ulteriori installazioni in quel block group per trimestre.

Per riassumere, troviamo una forte evidenza di effetti di vicinanza spaziale localizzati e variabili dell'ambiente circostante che influenzano l'adozione di sistemi fotovoltaici e una evidenza molto più debole di altre variabili socioeconomiche, demografiche e affiliazione politica che influenzino le adozioni.

4.2 Effetti decrescenti nel tempo

Mentre la letteratura precedente ha mostrato che gli effetti di vicinanza possono diminuire nel tempo con la diffusione del solare fotovoltaico (Richter, 2013), e che la base installata aumenta (Bollinger e Gillingham, 2012), ipotizziamo che l'effetto prossimo possa anch'esso diminuire per ogni installazione man mano che passa il tempo dal momento in cui sono avvenute le prime installazioni.

La tabella 2 dimostra la diminuzione di questo effetto di vicinanza nel corso del tempo dal momento delle prime installazioni. Tutte le colonne contengono effetti fissi semestrali del block group, proprio come nella specificazione in Tabella 2.

Tabella 2 Diminuzione dell'effetto di vicinanza nel corso del tempo dal momento delle prime installazioni. [M. Graziano – K. Gillingham (2015), pp 834]

	Block group-year-semester FE			
	6 Months (1)	12 Months (2)	Since 2005 (3)	Installed base (4)
Average neighbors within 0.5 miles	0.44*** (0.1000)	0.22** (0.1048)	0.040** (0.0164)	
Average neighbors 0.5–1 mile	0.39*** (0.0832)	0.051 (0.0752)	0.023* (0.0136)	
Average neighbors 1–4 miles	0.12*** (0.0224)	0.081*** (0.0140)	0.031*** (0.0019)	
Installed base				0.27*** (0.0279)
Number of housing units (1000 s)	0.0015 (0.0311)	0.0069 (0.0317)	0.0097 (0.0259)	0.24*** (0.0617)
Housing density (0.001 s)	0.0014 (0.0097)	0.0045 (0.0080)	0.010 (0.0093)	0.076*** (0.0151)
Renter-occupied houses (%)	0.00011 (0.0004)	0.000018 (0.0004)	0.00033 (0.0004)	0.00082 (0.0005)
Median household income (\$10,000)	0.0038 (0.0047)	0.00082 (0.0042)	0.0027 (0.0037)	0.0063 (0.0057)
Median age	0.00097 (0.0008)	0.00051 (0.0008)	0.00094 (0.0007)	0.00098 (0.0012)
Median age in highest 5%	0.014 (0.0137)	0.0045 (0.0143)	0.0082 (0.0112)	0.024 (0.0258)
Electricity cost (Cent/kWh)	0.00017 (0.0014)	0.00045 (0.0015)	0.00058 (0.0013)	0.0071 (0.0019)
Unemployment (%)	0.00021 (0.0018)	0.0040** (0.0019)	0.0023 (0.0017)	0.015*** (0.0035)
Solarize CT	0.87*** (0.2002)	0.21 (0.2350)	0.40*** (0.1934)	0.63*** (0.1053)
Constant	0.0052 (0.0675)	-0.072 (0.0705)	0.045 (0.0554)	0.045 (0.0554)
Race variables	X	X	X	X
Political affiliation	X	X	X	X
R ²	0.19	0.19	0.34	0.34
Observations	90,090	90,090	90,090	90,090

Colonna 1 ripete colonna 4 della tabella 1 per riferimento.

Colonna 2 estende le variabili spazio-temporali per includere installazioni precedenti fino a 12 mesi precedenti.

Colonna 3 estende ulteriormente queste variabili per includere tutti le precedenti installazioni dal 2005, quando il mercato CT ha avuto inizio.

Colonna 4 include la classica variabile base installata per il confronto con i risultati di Bollinger e Gillingham.

I risultati in colonne 1-3 forniscono una forte evidenza che gli effetti di vicinanza spaziali diminuiscono nel tempo da quando si verifica un impianto. Questo è intuitivo e suggerisce che installazioni precedenti hanno meno effetto sull'aumento della probabilità di nuove installazioni col passare del tempo. Dopo un anno o due, le famiglie sono verosimilmente già consapevoli di precedenti installazioni, e, quindi, sarebbero meno colpiti da loro.

I risultati in colonna 4 indicano un effetto "*installed base*" statisticamente molto significativo e positivo, indicando che un'ulteriore installazione nella "*installed base*" aumenta adozioni in un block group di 0,27 in quel trimestre.

Questo è un effetto approssimativamente paragonabile all'effetto mostrato nelle variabili spazio-temporali, ma sembra essere una media dell'effetto nello spazio e nel tempo.

4.3 Democratici e repubblicani: a favore o contro le energie pulite?

Le variabili di appartenenza politica ci aiutano a capire gli effetti dei valori ambientali sulla adozione di sistemi fotovoltaici. I democratici sostanzialmente tendono a votare a favore di regolamenti RPS (*Renewable Portfolio Standard*) sostenendo che creano posti di lavoro oltre ad apportare benefici (Coley e Hess, 2012).

Lo sviluppo di posti di lavoro è un argomento di primaria importanza nella corsa presidenziale degli Stati Uniti, ma Donald Trump e Hillary Clinton hanno assunto posizioni divergenti sul ruolo che l'energia pulita potrebbe svolgere nella creazione di occupazione.

La democratica Hillary Clinton dice che gli Stati Uniti possono diventare una "superpotenza mondiale dell'energia pulita". Il suo piano, creerebbe milioni di posti di lavoro e stimolerebbe miliardi di dollari di investimenti pubblici e privati, rendendo le infrastrutture più resistenti e riducendo le emissioni.

Il candidato repubblicano Donald Trump afferma di essere un "grande credente in tutte le forme di energia", ma che le politiche energetiche del Paese sono un "disastro". In un'intervista del 2015 con la CNN, Trump ha dichiarato che le politiche a sostegno dell'energia pulita e riduzione delle emissioni di carbonio metterebbero "in pericolo posti di lavoro" e "la classe media e le classi inferiori".

Come molti critici degli sforzi del governo federale per promuovere l'energia pulita, egli punta l'attenzione al fallimento di Solyndra come uno spreco di denaro dei contribuenti. Solyndra, era una società solare che ha ricevuto una garanzia di prestito parziale, da parte del governo degli Stati Uniti, ma è fallita nel 2011, inadempiente su un prestito di 535 milioni di \$ US.

Che cosa dice la ricerca economica dire riguardo il potenziale della politica industriale guidata dal governo per promuovere l'energia pulita e creare posti di lavoro?

Guardando all'American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) del 2009, o quello che divenne noto come il "pacchetto di stimolo" (stimulus package), ci fornisce alcune intuizioni.

Ciò che emerge chiaramente è che l'espansione delle energie rinnovabili è un'opportunità per creare posti di lavoro nel settore manifatturiero e delle costruzioni, così come in altri settori. Diversi studi mostrano che le energie rinnovabili e le aziende ad efficienza energetica sono i motori della crescita di posti di lavoro, e il sostegno pubblico per queste industrie catalizza gli investimenti privati e stimola la crescita economica nel complesso (vedi Green Growth del 2014 studio effettuato dal Political Economy Research Institute "PERI", e il Sizing the Clean Energy Economy della Brookings Institution).

Eppure la ricerca accademica è spesso trascurata o messo da parte nei discorsi pubblici, mentre i cosiddetti "fallimenti" come la bancarotta di Solyndra sono mostrati come esempi di fallimento delle politiche di energia pulita.

In realtà, le politiche pubbliche per l'energia pulita sono in gran parte state efficaci nello stimolare la crescita di questo settore, così come la creazione di nuovi posti di lavoro.

Diamo prima un'occhiata specificamente presso il Department of Energy's (DOE) e al programma di garanzia dei prestiti che è stato finanziato come parte dello stimolo e ha fornito un prestito per Solyndra per costruire una fabbrica. Nel complesso, questo programma è stato un enorme successo.

E 'stato responsabile di aver fatto avanzare il settore delle energie rinnovabili, finanziando il più grande impianto fotovoltaico al mondo, a sostegno di due dei più grandi progetti solari termici di tutto il mondo, e finanziando il più grande parco eolico del mondo a partire dal 2012. Per di più, le perdite, come Solyndra rappresentano solo il due per cento di tutto il portafoglio dei prestiti, una componente molto piccola se confrontato con i tassi di perdita tipici in capitali di rischio, spesso dell'ordine di 40 o 50 per cento. E per il contribuente americano, le perdite sono in realtà inesistenti, perché gli interessi maturati sui prestiti di successo fatti dal DOE ormai superano le perdite da aziende come Solyndra.

Entro la fine del 2014, il DOE aveva già ricevuto 810 milioni di dollari in interessi, rispetto ai 780 milioni di \$ di perdite.

Il tipo di attività finanziate dal programma di garanzia dei prestiti (che prevede il finanziamento alle case automobilistiche, aziende elettriche e altri settori) crea posti di lavoro. E l'industria

dell'energia pulita è uno delle aree in più rapida crescita nell'economia globale. Nel mese di marzo 2016, i posti di lavoro nel settore dell'energia solare erano cresciuti 12 volte più veloce di crescita complessiva del lavoro globale.

Studi come il "Green Growth" del PERI mostrano che una transizione dai combustibili fossili alle energie pulite, crea posti di lavoro. Molti posti di lavoro. Ad esempio, per ogni milione di dollari speso per l'efficienza energetica sono creati circa 15 posti di lavoro. Questi includono i posti di lavoro "diretti" nella produzione e installazione, così come i posti di lavoro "indiretti" creati attraverso la catena di approvvigionamento, in settori come l'ingegneria, la contabilità, autotrasporti, e molti altri. Nel frattempo, i combustibili fossili creano un minor numero di posti di lavoro per la stessa quantità di spesa, sostenendo circa sei posti di lavoro per 1 milione di dollari per le operazioni in corso nel settore, pari a circa 11 posti di lavoro per la creazione di nuova produzione di combustibili fossili. Ci sono alcune ragioni per le quali l'energia pulita crea più posti di lavoro rispetto ai combustibili fossili: l'intensità di lavoro, prodotto nazionale e salari.

L'intensità del lavoro significa che più della spesa totale va verso l'assunzione dei lavoratori, piuttosto che per il capitale, come ad esempio edifici e attrezzature. L'industria del petrolio e del gas è una delle industrie a più alta intensità di capitale per l'economia, producendo pochi posti di lavoro per ogni milione di dollari di spesa.

L'energia pulita ha anche un elevato prodotto nazionale -compreso il lavoro di costruzione e componenti fabbricati- rispetto ai combustibili fossili, il che significa che la maggior parte degli input provengono dall'interno degli Stati Uniti, e quindi è lì che sono stati creati più posti di lavoro. Infine, i salari medi sono leggermente inferiori nel settore dell'energia pulita che l'industria dei combustibili fossili, quindi un dato milione di dollari di spesa è in grado di supportare più posti di lavoro nell'energia pulita.

Lo studio PERI rileva che un investimento dell'ordine del 1,2 per cento del PIL americano creerebbe più di quattro milioni di posti di lavoro in energia pulita, o vicino a tre milioni di nuovi posti di lavoro netti se sottraiamo le perdite di posti di lavoro nei combustibili fossili.

In che modo la spesa pubblica per l'energia pulita influenza il nostro sistema energetico?

Il Recovery and Reinvestment Act americano del 2009 (ARRA) è stato il più grande investimento pubblico in energia pulita nella storia degli Stati Uniti. Del pacchetto di investimento di circa \$ 800miliardi, \$ 90 miliardi è stato destinato verso l'energia pulita.

Circa la metà di questa cifra è stata utilizzata per incentivi o sovvenzioni, aumentando l'impatto dello stimolo. Il CEA ha stimato che 46 miliardi di dollari in incentivi fanno da leva per ulteriori 150 miliardi di dollari in spesa privata e non federale.

Oltre ai posti di lavoro creati, questi investimenti hanno contribuito a migliorare l'infrastruttura energetica e mettere in atto progetti eolici e solari su larga scala.

I sostenitori di un'economia di libero mercato dicono che il governo non dovrebbe occuparsi degli affari e scegliere i vincitori, e che il mercato dovrebbe stabilire quali imprese di energia prosperano e quali falliscono. Tuttavia, in particolare con le tecnologie emergenti, il governo può svolgere un ruolo importante nella promozione della ricerca e dell'innovazione. Il governo può diversificare e ridurre il rischio investendo in molti diversi tipi di tecnologie, allo stesso tempo. Alcuni di questi tentativi falliranno, come Solyndra, ma molti altri avranno successo e, infine, saranno prodotti e venduti da aziende private.

Una critica coerente dell'ARRA afferma che si è cercato di fare troppo in un tempo troppo breve. Mai nella storia è stato effettuato un investimento pubblico così ampio in energia pulita, e ci sono stati processi e programmi che hanno necessitato tempo per essere stabiliti. A causa di strozzature amministrative, lo sviluppo di lavoro è stato più lento di quello che altrimenti avrebbe potuto essere. I critici della spesa pubblica per programmi di energia pulita sostengono che la rapida diffusione del fracking (abbreviazione di "hydraulic fracturing" che significa fratturazione idraulica) ha creato molti posti di lavoro nel settore petrolifero e del gas, e che le norme che sostengono l'energia pulita soffocheranno l'attività economica di petrolio e gas. In realtà le motivazioni per la spesa pubblica in materia di energia pulita sono valide in quanto congiuntamente alla spesa privata è necessaria per continuare il rapido ritmo di crescita in questo settore. Inoltre la spesa pubblica catalizza gli investimenti privati, creando congiuntamente milioni di posti di lavoro e opportunità per i lavoratori e le imprese.

Conclusioni

Questo articolo studia i fattori principali che influenzano la diffusione di sistemi solari fotovoltaici nel tempo e nello spazio.

Usiamo dati dettagliati sui sistemi fotovoltaici in CT, insieme a dati socioeconomici demografici, affiliazione politica e dell'ambiente circostante per evidenziare i fattori chiave sia attraverso l'analisi geospaziale sia l'analisi econometrica dei panel data.

L'analisi geospaziale rivela che il modello di diffusione di impianti fotovoltaici non segue semplicemente i modelli di densità abitativa o di reddito. I risultati che troviamo indicano che i piccole e medi centri di densità abitativa sono altrettanto importanti, -se non più importanti- dei centri di maggiore dimensioni, come attori principali per la diffusione dei sistemi fotovoltaici.

Ipotizziamo che questo modello in CT è il risultato della frammentazione giurisdizionale socio-economica dello Stato, delle normative vigenti che influenzano l'adozione in edifici multifamiliari e dei programmi Solarize basati sulla comunità.

L'analisi del panel data sviluppa un nuovo insieme di variabili spazio-temporali che non è stato visto in precedenza nella letteratura. Queste variabili permettono di modellare con più attenzione gli aspetti spaziali e temporali della influenza di impianti vicini sulla decisione di installare, pur mantenendo una struttura che ci permette di affrontare gli avversari primari di eventuali “*peer effects*” (effetti di vicinanza): omofilia, non osservabili correlate e simultaneità.

Troviamo prove che i determinanti primari dei modelli di diffusione di sistemi fotovoltaici in CT sono effetti di vicinanza spaziale e le variabili di ambiente circostante: l'aggiunta di una adozione nei precedenti 6 mesi aumenta il numero di adozioni di sistemi fotovoltaici in un block group al trimestre nel raggio di 0,5 miglia del sistema di 0.44 sistemi in media. In un anno, questo è di circa 26,4 sistemi aggiuntivi per città quando presa al numero medio di block groups in una città. Anche il prezzo dell'elettricità e l'esistenza di un programma Solarize (solarizzazione) svolgono un ruolo importante nell'influenzare l'adozione.

Si evidenzia anche come le interazioni sociali possono portare ad una diversa tempistica di adozioni. Naturalmente, è importante interpretare questi risultati tenendo presente che il CT è nella fase iniziale di adozione dei sistemi fotovoltaici, quindi l'effetto di prossimità sta influenzando la fase esponenziale di una classica curva di diffusione a ‘forma si S’ (Rogers, 1962). Se venissero applicate le stesse stime, per fasi successive del processo di diffusione sarebbe certamente problematico in quanto alla fine, quasi tutti i tetti adatti per impianti fotovoltaici saranno già stati adottati, e i block groups del CT saranno diventati saturi.

I risultati empirici sull'ambiente circostante si allineano con l'analisi spaziale. Si nota che le adozioni sono in diminuzione in presenza di forte densità abitativa e maggiori quote di abitazioni affittuario-occupati, e ciò corrisponde alla scoperta che grandi centri sono meno importanti per la diffusione della nuova tecnologia, sottolineando così la scoperta di Bronin che la divisione degli incentivi può ostacolare l'adozione. Politiche che riducono gli ostacoli normativi per il 'solare condiviso' o per il 'solare basato sulla comunità' potrebbero consentire

una maggiore penetrazione dei sistemi fotovoltaici in comunità più densamente popolate e meno ricche.

Oltre a fornire nuove prove sulla natura del processo di diffusione di un'importante tecnologia di energia rinnovabile, i risultati hanno anche diverse implicazioni politiche e di marketing per il CT e per situazioni comparabili. L'importanza dimostrata dagli effetti di vicinanza spaziale è senza dubbio utile per il marketing del sistema fotovoltaico e per soggetti politici interessati a promuovere impianti fotovoltaici, poiché suggerisce cautamente delle misure per sfruttare tali effetti di prossimità spaziali. Infatti, i programmi Solarize basati sulla comunità sono progettati per favorire le interazioni sociali sui sistemi solari fotovoltaici e si sono dimostrati molto efficaci ad aumentare l'adozione di impianti fotovoltaici. Tali risultati mostrando il modello di adozione di sistemi fotovoltaici sono anche rilevanti ai fini politici,

Considerazioni finali.

Concludendo, da questo studio si vede che per iniziare è necessario un aiuto statale, a cui aderiranno i primi convinti della positività dell'investimento sia sotto forma economica che ambientale. Per ogni impianto installato, o per emulazione o per convenienza, comportava l'installazione di un tot di altri impianti favorendone la diffusione.

L'impegno economico iniziale statale diminuisce progressivamente con la diffusione del sistema fotovoltaico che ne abbassa i costi produttivi innescando un sistema virtuoso con ulteriori investimenti da parte dei privati fino a tendere in futuro ad azzerare l'investimento pubblico. Nonostante il grande quantitativo di soldi pubblici investiti e qualche scelta errata (vedi ad esempio Solyndra), questi investimenti si sono dimostrati comunque positivi con il rientro di maggiori capitali.

Con l'aumentare della diffusione del sistema fotovoltaico sono aumentati considerevolmente la creazione di nuovi posti di lavoro che sono andati ad aggiungersi a quelli esistenti nelle attività estrattive. Nonostante che si preveda una diminuzione di posti di lavoro nel settore estrattivo, la creazione dei posti nel settore FV non solo compensa ma incrementa, anche tramite l'indotto, un numero maggiore di addetti, rendendo positivo in maniera duratura anche sotto questo aspetto tale investimento.

Aumenti mirati di costo dell'energia elettrica prodotta con metodi tradizionali (petrolio, gas, carbone) rendono più attraente lo sviluppo di sistemi alternativi (fotovoltaico, eolico, marino).

Bibliografia

- ANSELIN, L. (1995) *Local indicators of spatial association-LISA*. *Geographical Analysis*, 27:93–115.
- BASS, F. (1969) *A new product growth model for consumer durables*. *Management Science*, 15:215–227.
- BOLLINGER, B., GILLINGHAM, K. (2012) *Peer effects in the diffusion of solar photovoltaic panels*. *Marketing Science*, 31: 900–912.
- BRONIN, S. (2012) *Building-related renewable energy and the case of 360 state street*. *Vanderbilt Law Review*, 65: 1875–1934.
- BROWN, L. (1981) *Innovation Diffusion*. New York, NY: Methuen.
- CADMUS GROUP. (2014) *Progress Report: CEFIA Residential Solar*.
- COHEN W.M., LEVINTHAL D (1990)., “*Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation*”, in *Administrative Science Quarterly*, Vol. 24,
- COLEY, J. S., HESS, D. J. (2012) *Green energy laws and republican legislators in the United States*. *Energy Policy*, 48: 576–583.
- GETIS, A., ORD, J. K. (1992) *The analysis of spatial association by use of distance statistics*. *Geographical Analysis*, 24: 189–206.
- GILLINGHAM, K., HARDING, M., RAPSON, D. (2012) *Split incentives and household energy consumption*. *Energy Journal*, 33: 37–62.
- GILLINGHAM, K., SWEENEY, J. (2012) *Barriers to the implementation of low carbon technologies*. *Climate Change Economics*, 3: 1–25.
- HÄGERSTRAND, T. (1952) *The propogatoin of innovation waves Lund Studies in Geography: Series B (Vol. 4)*. Lund, Sweden: University of Lund.
- MITCHELL, A. (2005) *The ESRI Guide to GIS Analysis*. Redlands, CA: ESRI Press.
- MASON, W. A., JONES, A., GOLDSTONE, R., (2005) *Propagation of innovations in networked groups*, *Proceedings of the Twenty–seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates
- MOORE G.A. (1991) *Crossing the Chasm. Marketing and selling High–Tech products to mainstream customers*, HarperBusiness Book, New York, 1991
- MÜLLER, S., RODE, J. (2013) *The adoption of photovoltaic systems in Wiesbaden, Germany*. *Economics of Innovation and New Technology*, 22: 519–535.
- ORD, J. K., GETIS, A. (1995) *Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and application*. *Geographical Analysis*, 27: 286–306.

- RICHTER, L.-L. (2013) *Social effects in the diffusion of solar photovoltaic technology in the UK*. University of Cambridge Working Paper in Economics 1357.
- RODE, J., WEBER, A. (2013) *Does localized imitation drive technology adoption? A case study on solar cells in Germany*. TU Darmstadt Working Paper.
- ROGERS, E. (1962) *Diffusion of Innovations*. New York, NY: Free Press of Glencoe.
- ROSENBERG, N. (1976) "On technological expectations", in *Economic Journal*, 86
- ROSENKOPF, L., ABRAHAMSON, E. (1999) "Modeling Reputational and Informational Influences in Threshold Models of Bandwagon Innovation Diffusion", in *Computational and Mathematical Organization Theory*, 5
- RYAN B., GROSS N (1943). "The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities", in *Rural Sociology*, 8(1), 194
- TARDE, G. (1903), *The laws of imitation*, Holt, New York
- VALENTE, T.W. (1996) "Social network thresholds in the diffusion of innovations", in *Social Networks*, 18
- VINDING, A.K., (2001) *Absorptive capacity and innovative performance: a human capital approach*, Paper presented at the 2002 DRUID (Danish Research Unit for Industrial Dynamics) Winter Conference

Sitografia

- DEEP. (2013) *Connecticut department of energy and environmental protection*. Disponibile online presso: <http://www.ct.gov/deep/site/default.asp>
- DOE. (2013) Fact #573: June 1, 2009 Vehicles per capita by state. Disponibile online presso: http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2009_fotw573.html
- GARRETT-PELTIER, H. (2016) Disponibile online presso: <http://theconversation.com/clinton-says-the-clean-energy-economy-will-create-millions-of-jobs-can-it-66111>
- GRAZIANO, M. GILLINGHAM, K. (2014): *Spatial patterns of solar photovoltaic system adoption: The influence of neighbors and the built environment*. *Journal of Economic Geography* 15 (2015) pp. 815–839. Disponibile online presso: <http://joeg.oxfordjournals.org/>
- MAGIC. (2013) University of Connecticut Map and Geographic Information Center. Disponibile online presso: <http://magic.lib.uconn.edu/>
- US CENSUS BUREAU. (2013) Connecticut Census Data. Disponibile online presso: <http://ctsdc.uconn.edu/>