

REGOLAMENTAZIONE AMBIENTALE, CAPITALE ICT E PRODUTTIVITÀ: TRA SINERGIE E *TRADE-OFF*

Roberta De Santis, Piero Esposito e Cecilia Jona Lasinio*

- Questo lavoro propone un'analisi della relazione tra regolamentazione ambientale, capitale ICT e crescita della produttività per 18 paesi OCSE nel periodo 1990-2015. I risultati empirici supportano l'ipotesi che le politiche ambientali, fornendo alle imprese un incentivo all'innovazione tecnologica, favoriscano anche incrementi di produttività, come suggerito da Porter (1991)¹ e Porter e Van Der Linde (1995)². Sia le politiche ambientali che sfruttano meccanismi di mercato sia quelle di comando e controllo esercitano un impatto positivo, sebbene di diversa intensità, sulla crescita della produttività nei paesi esaminati, soprattutto in quelli con più elevata intensità di capitale ICT.

JEL Classification: D24, Q50, Q55, O47, O31.

Keywords: regolamentazione ambientale, produttività, capitale ICT, ipotesi di Porter.

* rdesantis@istat.it, ISTAT e Università Luiss Guido Carli; cjonalasinio@istat.it, ISTAT e Università Luiss Guido Carli; pesposito@luiss.it, Università di Cassino e Luiss School of European Political Economy. Le opinioni espresse in questo articolo non rispecchiano necessariamente la posizione dell'ISTAT, della Luiss Guido Carli e dell'Università di Cassino. Ogni errore o omissione è da attribuire esclusivamente agli autori.

¹ Porter M. E., "America's Green Strategy," *Scientific American*, April 1991, Vol. 264, n. 4, p. 168.

² Porter M., Van Der Linde C., "Toward a New Conception of the Environment - Competitiveness Relationship", *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9 (4), pp. 97-118.

1. Introduzione

La relazione tra regolamentazione ambientale e crescita della produttività ha acquisito un ruolo centrale nel dibattito di politica economica a partire dalla crisi finanziaria internazionale del 2008, quando gli economisti hanno identificato nella *green economy* una fonte di crescita alternativa particolarmente promettente per la ripresa economica. Inoltre, nel 2020, le politiche economiche adottate dai governi per attenuare l'impatto economico e sociale della pandemia da Covid-19 hanno riconosciuto nella transizione ecologica un elemento fondamentale per la ripresa³, rendendo la relazione tra economia e ambiente ancora più rilevante. L'analisi e la comprensione dei meccanismi attraverso i quali le politiche ambientali agiscono su innovazione tecnologica e produttività, e i fattori che rinforzano questa relazione, sono elementi sempre più centrali per la definizione di politiche efficaci che, oltre a salvaguardare l'ambiente, non danneggino, o addirittura favoriscano, la competitività dei settori produttivi.

Tradizionalmente, la percezione comune è che le politiche ambientali impongano costi addizionali per le imprese, peggiorandone la produttività. In base all'ipotesi di Porter (IP), invece, è emersa l'idea che politiche ambientali più stringenti possano fornire incentivi all'innovazione tecnologica con ritorni positivi in termini di produttività capaci di compensare i costi di adozione delle misure di salvaguardia dell'ambiente.

Questo lavoro fornisce un'analisi empirica dell'ipotesi di Porter, esplorandola nelle sue tre versioni: *weak*, *strong*, e *narrow* (Jaffe e Palmer 1997⁴). L'ipotesi *weak* assume che la regolamentazione ambientale fornisca un incentivo all'innovazione tecnologica, ma che il costo di quest'ultima potrebbe più che compensare il guadagno di produttività generato. Di conseguenza l'effetto finale sulla produttività risulta indeterminato. L'ipotesi *strong* si basa, al contrario, sull'assunzione che l'incremento finale di produttività sia sempre superiore al costo dell'innovazione. Infine, l'ipotesi *narrow* distingue gli effetti delle politiche di mercato (*market based* - MB) e di quelle di comando e controllo (*non-market based* - NMB) su innovazione e produttività. La tesi sottostante è che le prime siano più efficaci nello stimolare l'innovazione tecnologica, essendo più flessibili e consentendo, dunque, alle imprese di minimizzare i costi di implementazione⁵.

L'analisi empirica si concentra su 18 paesi OCSE, nel periodo 1990-2015.

La letteratura empirica sul legame tra regolamentazione ambientale e produttività è piuttosto eterogenea e sviluppata principalmente nell'ambito del commercio internazionale. Molto spesso, inoltre, le evidenze empiriche fanno riferimento a contesti specifici e si basano su misure differenziate sia di innovazione sia di produttività (i.e. produttività totale dei fattori,

³ Per i paesi dell'Unione europea, ad esempio, il 30% dei fondi del *Recovery e Resilience Facility*, lo strumento cardine di *Next Generation EU*, sarà destinato alla lotta ai cambiamenti climatici.

⁴ Jaffe A.B., Palmer K., "Environmental Policy and Innovation: A Panel Data Study", *The Review of Economics and Statistics*, 1997, 79 (4), pp. 610-619.

⁵ Nella letteratura empirica la correlazione tra innovazione e politiche ambientali è significativamente superiore per le politiche ambientali di mercato (Fischer C., Parry I.W.H., Pizer W.A., "Instrument Choice for Environmental Protection When Technological Innovation Is Endogenous", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003, 45 (3), pp. 523-545).

numero di brevetti o misure di efficienza produttiva). Di conseguenza, le stime econometriche sono difficilmente confrontabili.

I risultati empirici relativi alle diverse versioni dell'ipotesi di Porter sono eterogenei. Molti autori trovano evidenza di un *trade-off* tra regolamentazione ambientale e produttività. Quest'ultimo sarebbe dovuto al fatto che i costi aggiuntivi per la riduzione dell'inquinamento alterano le decisioni di investimento delle imprese con ripercussioni negative, almeno nel breve termine, sulla crescita della produttività (Ambec *et al.* 2011, Dechezleprêtre e Sato 2017)⁶.

Altri studi, al contrario, confermano l'ipotesi di Porter, anche nella sua versione *strong*, suggerendo che politiche ambientali ben strutturate possano migliorare la produttività attraverso innovazioni di prodotto e di processo (Ambec e Barla 2002; André *et al.* 2009, De Santis *et al.* 2021)⁷. Più precisamente tra i lavori riferiti ai principali paesi OCSE, De Santis e Jona Lasinio (2016)⁸, analizzano un campione di 15 paesi nel periodo 1995-2008, e concludono che l'ipotesi di Porter nelle versioni *strong* e *narrow* non possa essere rifiutata e che le politiche ambientali di mercato (i.e. le tasse ambientali) siano le più adatte a stimolare innovazione e crescita della produttività. Albrizio *et al.* (2017)⁹ analizzano dati settoriali e mostrano che un maggior rigore delle politiche ambientali nei paesi OCSE è associato, nel breve termine, a una accelerazione della crescita della produttività, ma solo nei paesi più tecnologicamente avanzati. Recentemente, Martinez Zarzoso *et al.* (2019)¹⁰, usando un modello *panel data* per 18 paesi OCSE, nel periodo 1990-2011, evidenziano come politiche ambientali più stringenti abbiano effetti positivi su spesa in R&S, numero di brevetti e produttività totale dei fattori, confermando sia la versione *strong* sia quella *weak* dell'ipotesi di Porter.

Risulta interessante notare come in questa letteratura si considerino molto raramente (Akshaya *et al.* 2019)¹¹ gli effetti redistributivi eterogenei tra settori/paesi innescati dalle

⁶ Ambec S., Cohen M., Elgie S., Lanoie P., "The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Policy Enhance Innovation and Competitiveness?", *RF Discussion Paper*, 2011, 11 (01), Washington DC: Resources for the Future; Dechezleprêtre A., Sato M., "The Impacts of Environmental Policies on Competitiveness", *Review of Environmental Economics and Policy*, 2017, 11 (2), pp. 183-206.

⁷ Ambec S., Barla P., "A Theoretical Foundation of the Porter Hypothesis", *Economic Letters*, 2002, 75 (3), pp. 355-360; André F.J., González P., Porteiro N., "Strategic Quality Competition and the Porter Hypothesis", *Journal of Environmental Economics Management*, 2009, 57 (2), pp. 182-194; De Santis R., Esposito P., Jona Lasinio C., "Environmental Regulation and Productivity Growth: Main Policy Challenges", *International Economics Journal*, 2021, 165 (C), pp. 264-277.

⁸ De Santis R., Jona Lasinio C., "Environmental Policies, Innovation and Productivity in the EU", *The Global Economy Journal*, 2016, De Gruyter, 16 (4), pp. 615-635.

⁹ Albrizio S., Koźluk T., Zipperer V., "Environmental Policies and Productivity Growth: Evidence across Industries and Firms", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 81 (C), pp. 209-226.

¹⁰ Martinez Zarzoso I., "Does Environmental Policy Stringency Foster Innovation and Productivity in OECD Countries?", *Energy Policy*, 2019, n. 134.

¹¹ Akshaya J., Matthews P., Muller N., "Does Environmental Policy Affect Income Inequality? Evidence from the Clean Air Act", *AEA Papers and Proceedings*, 2019, 109, pp. 271-276.

politiche ambientali che rappresentano invece, almeno per i paesi europei, uno dei principali problemi legati alla transizione ecologica¹².

Il nostro lavoro fornisce un contributo alla letteratura da tre punti di vista. In primo luogo, si usa un'analisi *cross country* per l'economia nel suo complesso con il vantaggio, rispetto a studi a livello settoriale e/o di paese, di essere più adatta a fornire suggerimenti per le politiche ambientali generalmente deliberate a livello supranazionale. In secondo luogo, viene esaminato il ruolo dello stock di capitale ICT rispetto a quello non-ICT come catalizzatore dell'effetto delle politiche ambientali sulla produttività¹³. Coerentemente con la letteratura sul capitale ICT (Jorgenson e Vu 2005)¹⁴ e con l'ipotesi di Porter, la principale assunzione è che il capitale ICT debba essere più efficace, rispetto a quello non ICT, nel favorire aumenti di produttività derivanti da una più stretta regolamentazione ambientale. Infine, come strategia econometrica viene utilizzato un modello *Panel Vector Autoregressive* (PVAR) per stimare in un unico contesto l'ipotesi di Porter nelle versioni *weak* e *strong*. In tal modo, è possibile verificare simultaneamente l'impatto diretto e indiretto delle politiche ambientali sulla produttività, stimando anche gli effetti delle innovazioni tecnologiche sull'accumulazione di capitale. Abbiamo, inoltre, distinto gli effetti delle politiche ambientali sulla base dell'intensità media, alta o bassa, di capitale ICT in ogni paese del campione.

I risultati della ricerca supportano l'ipotesi di Porter nelle versioni *strong* e *weak*. Nello specifico, si conferma che le politiche ambientali nei 18 paesi OCSE abbiano avuto, nel periodo in esame, un effetto positivo sulla crescita della produttività associato a uno stimolo all'accumulazione di capitale ICT, soprattutto nei paesi con uno stock elevato di capitale ICT. Infine, i risultati evidenziano come sia le politiche di mercato sia quelle di comando e controllo abbiano effetti positivi, sebbene di diversa intensità, sulla crescita della produttività. In particolare, gli strumenti di mercato sembrano, in accordo con la versione *narrow* della IP, avere un maggiore impatto sulla produttività.

Il lavoro è organizzato come segue: nella Sezione 2 si riportano la descrizione dei dati utilizzati e alcune evidenze empiriche; la Sezione 3 illustra la strategia econometrica; la sezione 4 discute i risultati delle stime e la Sezione 5 presenta le conclusioni.

2. Dati e statistiche descrittive

L'analisi condotta in questo lavoro sugli effetti tra politiche ambientali e crescita della produttività è relativa a 18 paesi OCSE (Austria, Canada, Repubblica Ceca, Danimarca,

¹² Tra le misure adottate nel 2020 dall'Unione europea all'interno del *Green New Deal*, vi è lo stanziamento del *Just Transition Fund* di 17,5 miliardi per sostenere tra il 2021 e il 2027 le regioni nella transizione verso la neutralità climatica entro il 2050.

¹³ Il capitale ICT (ovvero tecnologie di informazione e comunicazione) include software, hardware e attrezzature di comunicazione, mentre quello non-ICT include macchinari e attrezzature, edifici e altri fabbricati.

¹⁴ Jorgenson D., Vu K., "Information Technology and the World Economy", *The Scandinavian Journal of Economics*, 2005, 107 (4), pp. 631-650.

Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Italia, Polonia, Portogallo, Spagna, Slovacchia, Svezia, Paesi Bassi, Gran Bretagna e Stati Uniti)¹⁵.

Si sono utilizzati indicatori di produttività aggiustati per l'ambiente. Questi indicatori sono calcolati dall'OCSE tenendo conto sia del consumo di capitale naturale (si includono 14 tipi di combustibili fossili e minerali) sia delle emissioni nocive (si includono 8 tipi di gas serra e inquinanti atmosferici) come fattori di costo aggiuntivi. Il processo di aggiustamento dei dati tiene, inoltre, conto della capacità tecnologica del paese (innovazioni per ridurre l'inquinamento atmosferico) e di cambiamenti della struttura economica (e.g. industrie a minore intensità di emissioni inquinanti).

Grazie alla disponibilità di dati sulla crescita del PIL aggiustata per tener conto delle variabili ambientali, abbiamo derivato due misure di produttività: produttività multifattoriale e produttività del lavoro per ora lavorata. La prima è fornita direttamente dall'OCSE ed è stimata tramite un approccio di funzione di produzione, mentre la seconda è calcolata come differenza tra il tasso di crescita del PIL aggiustato per l'ambiente e il tasso di crescita delle ore lavorate.

Come indicatore di rigore delle politiche ambientali è stato utilizzato l'indice composito *Environmental Policy Stringency (EPS)*¹⁶ dell'OCSE (Botta e Koźluk 2014)¹⁷. Quest'ultimo, includendo in maniera distinta strumenti di mercato (EPSM) e di comando e controllo (EPSNM), consente di testare la versione *narrow* della PI.

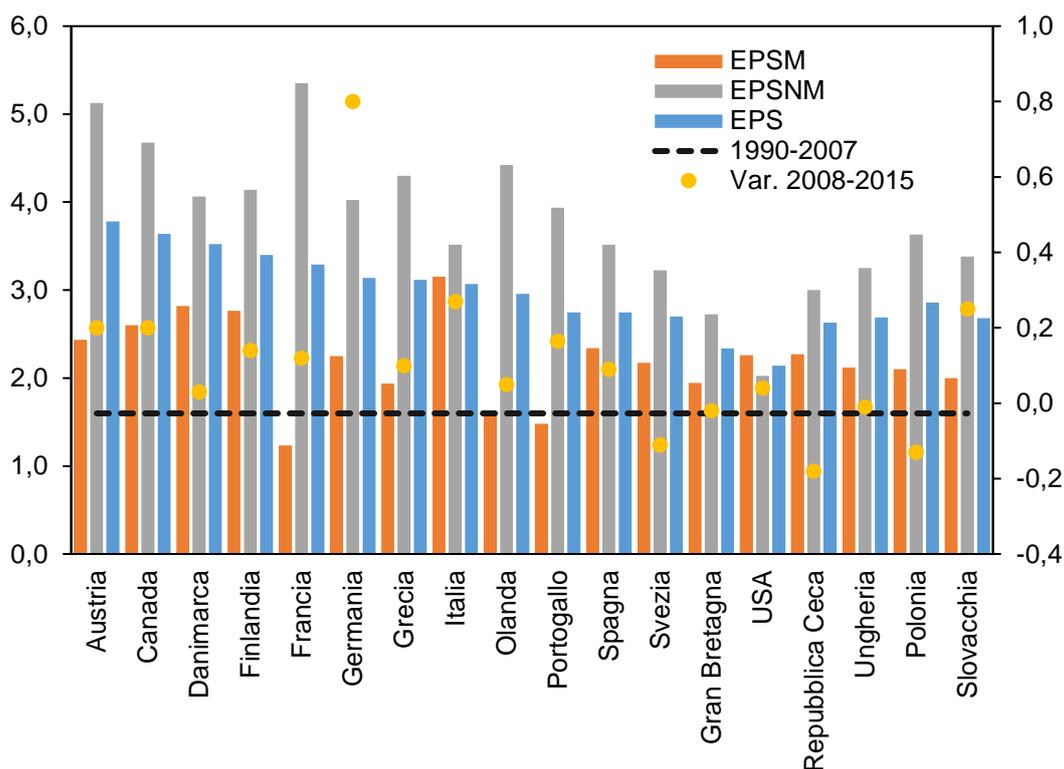
Nella Figura 1, si nota come dall'inizio degli anni Novanta tutte le componenti dell'indicatore siano aumentate, segnalando un maggiore rigore della politica ambientale, anche se in maniera eterogenea tra i principali paesi OCSE.

Figura 1 - *Environmental Policy Stringency (EPS)* 2008-2015

¹⁵ La selezione dei paesi inclusi nel panel è dovuta alla disponibilità dei dati in particolare rispetto agli stock di capitale ICT e non-ICT. Nelle nostre stime abbiamo integrato i dati OCSE sullo stock di capitale ICT con i dati EUKLEMS. Nello specifico, dove i dati OCSE non sono disponibili, abbiamo calcolato lo stock di capitale ICT sulla base della quota ottenuta dai dati EUKLEMS. I dati per Australia, Giappone, Corea del Sud, Norvegia Nuova Zelanda e per i BRICs non sono disponibili in nessuno dei due dataset.

¹⁶ L'indice EPS è disponibile per 24 paesi OCSE per il periodo 1990-2015. L'EPS si basa su una tassonomia sviluppata da de Serres, A. et al. (2010), "A Framework for Assessing Green Growth Policies", OECD Economics Department Working Papers, No. 774, e a ognuna delle sotto-componenti dell'indice è attribuito il medesimo peso. Nella componente di mercato sono incluse: tasse su emissioni di CO₂, SOX, NOX, e sul diesel; schemi di commercio di emissioni di CO₂, certificati di utilizzo di energie rinnovabili e di efficienza energetica; tariffe di introduzione; e schemi di deposito e rimborso. La componente non di mercato include standard (limiti alle emissioni, valori limite per NOX, SOX, e PM, limiti per il contenuto di zolfo nei diesel) e politiche di supporto all'innovazione, come sussidi governativi alla R&S.

¹⁷ Botta E., Koźluk T., "Measuring Environmental Policy Stringency in OECD Countries – A Composite Index Approach", *OECD Economics Department Working Paper*, 2014, n. 1177, OECD Publishing.



EPS= indice di rigore della legislazione ambientale; EPSM= EPS, strumenti di mercato; EPSNM= EPS, strumenti di comando e controllo.

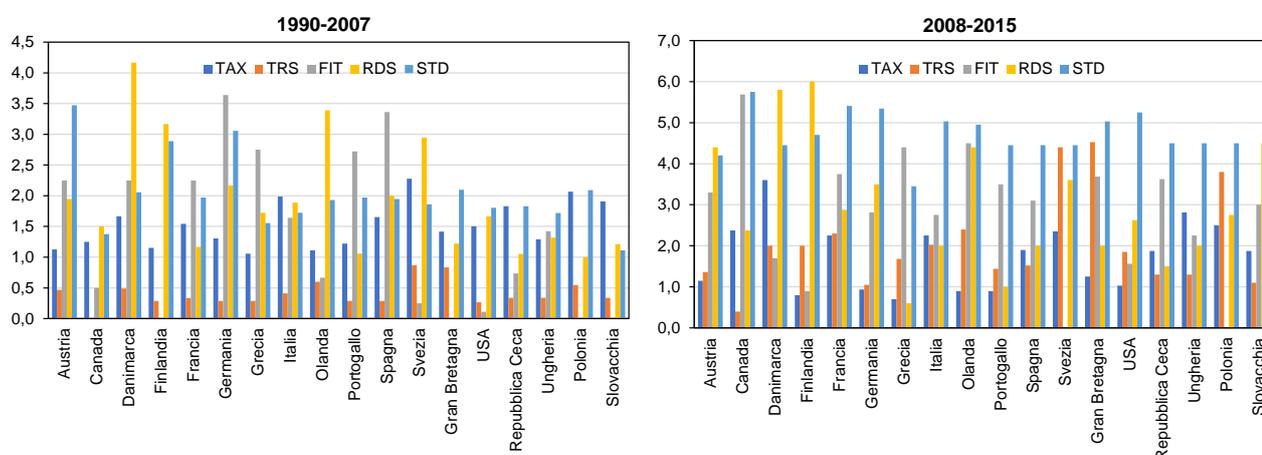
Fonte: OECD.Stat.

Gli strumenti di comando e controllo hanno mantenuto tra il 1990 e il 2015 una dimensione relativamente più elevata di quelli di mercato nei principali paesi OCSE.

Negli ultimi vent'anni, tuttavia, soprattutto a livello EU, ci si sta orientando verso regolamentazioni ambientali più flessibili che utilizzino, almeno in parte, meccanismi di mercato come, ad esempio, il Sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas a effetto serra¹⁸ (Figura 2).

¹⁸ Il sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas a effetto serra (*European Union Emissions Trading System - EU ETS*), ad esempio, che è il principale strumento adottato dall'UE per raggiungere gli obiettivi di riduzione della CO₂ nei principali settori industriali e nel comparto dell'aviazione (Direttiva 2003/87/CE), utilizza strumenti di comando e controllo e meccanismi di mercato.

Figura 2 - Environmental Policy Stringency (EPS): principali componenti



TAX=tassazione ambientale; TRS=sistemi di commercio di emissioni; FIT=Tariffe di Introduzione (feed-in tariffs); RDS= sussidi alla R&S; STD=standard qualitativi.

Fonte: OECD.Stat.

3. Modello econometrico e strategia empirica

Per testare l'ipotesi di Porter, è stata utilizzata una stima Panel VAR (PVAR) che consiste nel creare un sistema di equazioni in cui ogni variabile endogena è espressa come funzione del proprio ritardo e dei ritardi di tutti gli altri regressori. L'approccio PVAR, soprattutto se combinato con l'utilizzo del Metodo generalizzato dei Momenti (GMM) per panel dinamici, è una procedura standard nella stima dei coefficienti delle funzioni di produzione in quanto permette di controllare per causalità inversa e simultaneità¹⁹.

Il nostro modello PVAR può essere rappresentato come segue:

$$\Delta Prod_{i,t}^k = \beta_0 \Delta Prod_{i,t-1} + \beta_1 \Delta kict_{i,t-1} + \beta_2 \Delta knoict_{i,t-1} + \beta_3 \Delta EPS_{i,t-1}^j + \varepsilon_{i,t}^1 \quad (1a)$$

$$\Delta knoict_{i,t} = \beta_4 \Delta Prod_{i,t-1}^k + \beta_5 \Delta kict_{i,t-1} + \beta_6 \Delta knoict_{i,t-1} + \beta_7 \Delta EPS_{i,t-1}^j + \varepsilon_{i,t}^2 \quad (1b)$$

$$\Delta kict_{i,t} = \beta_8 \Delta Prod_{i,t-1}^k + \beta_9 \Delta kict_{i,t-1} + \beta_{10} \Delta knoict_{i,t-1} + \beta_{11} \Delta EPS_{i,t-1}^j + \varepsilon_{i,t}^3 \quad (1c)$$

$$\Delta EPS_{i,t} = \beta_8 \Delta Prod_{i,t-1}^k + \beta_{13} \Delta kict_{i,t-1} + \beta_{14} \Delta knoict_{i,t-1} + \beta_{15} \Delta EPS_{i,t-1}^j + \varepsilon_{i,t}^4 \quad (1d)$$

¹⁹ L'endogenità è un problema tipico delle funzioni di produzione in quanto la scelta dei fattori di produzione avviene simultaneamente a quella della quantità da produrre. Per quanto riguarda la relazione tra produttività e l'indice di severità delle politiche ambientali (EPS), problemi di endogenità derivano dall'esistenza di errori di misura e di componenti non osservabili che influenzano sia la regolamentazione ambientale che la crescita della produttività (Hille E. e P. Möbius, "Environmental Policy, Innovation, and Productivity Growth: Controlling the Effects of Regulation and Endogeneity", *Environmental & Resource Economics*, Springer vol. 73(4), pag. 1315-1355, August. 2019).

In cui *Prod* rappresenta il logaritmo delle due misure di produttività ($k=2$): produttività del lavoro aggiustata per l'ambiente (valore aggiunto per ora lavorata, HLP); produttività totale dei fattori aggiustata per l'ambiente (MFP). Le altre variabili comprendono: il logaritmo dello stock di capitale ICT per ora lavorata (*kict*); il logaritmo dello stock di capitale non-ICT per ora lavorata (*knoict*); e la misura di rigore della normativa ambientale (EPS^j). Quest'ultima variabile viene considerata in j diverse versioni (indice j). Nello specifico, in una prima stima abbiamo utilizzato l'EPS totale (EPST) e le sue due componenti di strumenti di mercato (EPSM) e non di mercato (EPSNM). Successivamente, abbiamo considerato le politiche ambientali, suddivise in: Tasse (TAX), Tariffe di Introduzione, Sussidi alla Ricerca e Sviluppo (RSS); Standard qualitativi (STD) e schemi di commercio di emissioni (TRS)²⁰.

Il Sistema di equazioni (1) - (4) è stimato tramite il metodo GMM in cui ogni variabile endogena è strumentata dai suoi primi tre ritardi. La scelta del numero di ritardi è fatta in modo tale da evitare che il numero di strumenti ecceda il numero di paesi nel campione e la validità delle restrizioni di sovra-identificazione (i.e. gli strumenti aggiuntivi oltre al primo) viene testata utilizzando la statistica J di Hansen²¹.

4. Risultati

La Tabella 1 mostra i coefficienti stimati dell'equazione (1a), utilizzando come indicatori di rigore della normativa ambientale, alternativamente, l'indice totale (EPST), l'indice calcolato sulle politiche di mercato (EPSM) e l'indice calcolato sulle politiche non di mercato (EPSNM). I risultati confermano la validità del modello econometrico basato sulla funzione di produzione aumentata per la normativa ambientale, in quanto entrambe le misure di capitale per ora lavorata (ICT e non ICT) hanno un coefficiente significativo e in linea con l'evidenza empirica (Spiezia, 2012; Timmer *et al.* 2011; Corrado *et al.* 2017)²².

L'indice EPS totale esercita un effetto positivo e significativo su entrambe le misure di produttività (cfr. colonne 1 e 5) coerentemente con la versione *strong* della IP.

La scomposizione dell'indice EPS in politiche di mercato (EPSM) e di comando e controllo (EPSNM) indica una forte prevalenza delle prime nel favorire un'accelerazione della crescita della produttività per occupato comunque sia misurata. Quest'ultima evidenza sembrerebbe confermare anche la validità della IP *narrow*, secondo la quale la crescita della produttività è stimolata maggiormente dall'adozione di politiche di mercato.

²⁰ La stima di un sistema di equazioni in differenze prime è dovuta alla mancanza di dati sui livelli di produttività aggiustata per l'ambiente. Ciò impedisce di tenere conto di effetti di lungo periodo tramite la stima di un vettore di integrazione e di un modello a correzione dell'errore in quanto i tassi di crescita sono stazionari.

²¹ La stima PVAR effettuata trasformando dati in deviazioni dalle medie, in modo da eliminare effetti fissi e controllare per la correlazione simultanea tra le unità.

²² Spiezia V., "ICT Investments and Productivity: Measuring the Contribution of ICTS to Growth", *OECD Journal of Economic Studies*, 2012, n. 1; Timmer M.P., Inklaar R., O'Mahony M., van Ark B., "Economic Growth in Europe: A Comparative Industry Perspective", *International Productivity Monitor*, Centre for the Study of Living Standards, 2011, n. 21, pp. 3-23; Corrado C., Haskel J, Jona-Lasinio C., "Knowledge Spillovers, ICT e Productivity Growth", *Oxford Bulletin of Economics e Statistics*, 2017, 79 (4), pp. 592-618, Department of Economics, University of Oxford.

Tabella 1 - Stima dell'equazione (1a)

	Produttività totale dei fattori (MFP)				Produttività per ora lavorata (HLP)			
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta prod_{t-1}$	0.590*** [0.073]	0.622*** [0.069]	0.945*** [0.111]	0.570*** [0.080]	0.528*** [0.082]	0.614*** [0.079]	0.652*** [0.109]	0.491*** [0.096]
$\Delta knoict_{t-1}$	0.236*** [0.050]	0.270*** [0.050]	0.024 [0.077]	0.255*** [0.061]	0.150*** [0.037]	0.186*** [0.035]	0.019 [0.051]	0.268*** [0.055]
$\Delta kict_{t-1}$	0.019** [0.007]	0.027** [0.009]	0.019** [0.008]	0.021** [0.009]	0.014** [0.007]	0.016** [0.006]	0.005 [0.007]	0.004 [0.010]
$\Delta EPST_{t-1}$	0.013*** [0.003]				0.011** [0.004]			
$\Delta EPSM_{t-1}$		0.009** [0.003]	0.009** [0.004]			0.007** [0.003]	0.008** [0.003]	
$\Delta EPSNM_{t-1}$		0.003 [0.002]		0.004** [0.002]		0.003* [0.002]		0.004** [0.002]
Hansen	59.5	82.8	17.5	49.4	53.6	80.9	12.6	45.1
p-value	0.112	0.251	0.35	0.416	0.297	0.298	0.701	0.591
N	288	288	288	288	288	288	288	288

* Significativo al 10%; significativo al 5%; significativo all'1%. EPS=indice di rigidità della normativa ambientale; EPSM=EPS calcolato sulle politiche di mercato; EPSNM= EPS calcolato sulle politiche non di mercato; kict=logaritmo dello stock di capitale ICT per ora lavorata; knoict= logaritmo dello stock di capitale non-ICT per ora lavorata.

Fonte: elaborazioni su dati OECD.

Per approfondire il ruolo del capitale ICT nel favorire un effetto positivo della normativa ambientale sulla crescita della produttività, abbiamo replicato le stime dell'equazione (1a), interagendo l'indicatore EPS con una variabile dicotomica che divide il campione in paesi ad alta e bassa intensità di capitale ICT. L'ipotesi sottostante è che la legislazione ambientale sia più efficace nel favorire la crescita della produttività in paesi ad alta intensità di capitale ICT come indicato anche da Albrizio *et al.* (2017). I due gruppi di paesi ad alta e bassa intensità di capitale ICT sono indentificati sulla base della loro posizione al di sopra o al di sotto del calcolato su tutti i paesi OCSE²³.

I risultati delle stime sono riportati nella Tabella 2 e confermano l'ipotesi di base: l'effetto di EPS sui paesi ad alta intensità di ICT è positivo e significativo per entrambe le misure di produttività (cfr. colonne 1 e 4), mentre nei paesi a bassa intensità di ICT l'effetto di EPS è

²³ I paesi ad alta intensità di ICT sono: Austria, Germania, Danimarca, Finlandia, Francia, Paesi Bassi e Svezia. I paesi a bassa intensità di ICT sono: Canada, Spagna, Regno Unito, Grecia, Italia, Portogallo, Stati Uniti, Repubblica Ceca, Ungheria, Polonia e Slovacchia. Analisi di sensitività dei risultati al cambiamento di gruppo di paesi vicini alla media (disponibili su richiesta) non modificano i risultati.

significativo solamente per la produttività totale dei fattori, ma con un impatto più basso rispetto all'altro gruppo.

Tabella 2 - Stima dell'equazione (1a): suddivisione dell'effetto di EPS in paesi ad alta e bassa intensità di ICT

	MFP			HLP		
	EPSI	EPSM	EPSNM	EPSI	EPSM	EPSNM
	1	2	3	4	5	6
$\Delta prod_{t-1}$	0.662*** [0.069]	0.595*** [0.074]	0.630*** [0.078]	0.629*** [0.079]	0.544*** [0.090]	0.586*** [0.093]
$\Delta knoict_{t-1}$	0.260*** [0.045]	0.243*** [0.057]	0.168*** [0.045]	0.142*** [0.036]	0.123** [0.041]	0.086** [0.038]
$\Delta kict_{t-1}$	0.024*** [0.006]	0.016* [0.008]	0.013** [0.006]	0.015** [0.007]	0.011* [0.006]	0.008 [0.006]
$\Delta EPSI_{hi\ t-1}$	0.018*** [0.005]	0.011** [0.004]	0.008** [0.003]	0.017*** [0.005]	0.011** [0.004]	0.007** [0.003]
$\Delta EPSI_{low\ t-1}$	0.010** [0.004]	0.008** [0.003]	-0.003 [0.003]	0.003 [0.003]	0.002 [0.003]	-0.001 [0.003]
Hansen J	61.8	57.6	47.2	55.2	57.1	46.8
p-value	0.122	0.258	0.584	0.284	0.261	0.615
N	288	288	288	288	288	288

* Significativo al 10%; significativo al 5%; significativo all'1%. EPS=indice di rigidità della normativa ambientale; EPSM=EPS calcolato sulle politiche di mercato; EPSNM= EPS calcolato sulle politiche non di mercato; kict=logaritmo dello stock di capitale ICT per ora lavorata; knoict= logaritmo dello stock di capitale non-ICT per ora lavorata.

Fonte: elaborazioni su dati OCSE.

I risultati di questa seconda specificazione econometrica convalidano il ruolo strategico del capitale ICT nel favorire miglioramenti di produttività dovuti agli adempimenti richiesti dalla normativa ambientale. Inoltre, possiamo considerare il risultato coerente con l'ipotesi di Porter *weak*. Basata sull'adozione di nuove tecnologie tramite l'accumulazione di capitale ICT piuttosto che sulla produzione di innovazione.

Le stime delle specificazioni con i singoli strumenti di *policy* al posto degli indici aggregati sono riportati nella Tabella 3. I sistemi di scambio di emissioni sembrerebbero essere gli strumenti più efficaci nel favorire l'aumento del tasso di crescita di entrambe le misure di produttività (colonne 5 e 10).

Considerando la produttività totale dei fattori, le tariffe di introduzione e gli standard qualitativi sembrerebbero, anch'essi, contribuire in modo significativo alla crescita della

produttività. Per quanto riguarda la produttività del lavoro, un contributo significativo sembrerebbe derivare dai sussidi alla R&S.

Tabella 3 - Stima dell'equazione (1a): effetto delle diverse misure di *policy*

EPSI=	MFP					HLP				
	TAX	FIT	RDS	STD	TRS	TAX	FIT	RDS	STD	TRS
$\Delta prod_{t-1}$	0.622** *	0.453** *	0.460** *	0.833** *	0.388** *	0.433** *	0.194	0.405** *	0.647** *	0.539***
	[0.068]	[0.089]	[0.092]	[0.075]	[0.061]	[0.082]	[0.118]	[0.097]	[0.097]	[0.090]
$\Delta knoict_{t-1}$	0.149**	0.162**	0.250** *	0.045	0.092**	0.127** *	0.242** *	0.186**	0.070*	0.226***
	[0.046]	[0.058]	[0.070]	[0.042]	[0.045]	[0.038]	[0.070]	[0.061]	[0.041]	[0.049]
$\Delta kict_{t-1}$	0.016**	0.018**	0.023**	0.022** *	0.062**	0.019**	0.017	0.008	0.015**	0.032**
	[0.006]	[0.008]	[0.011]	[0.007]	[0.020]	[0.007]	[0.011]	[0.010]	[0.007]	[0.010]
$\Delta EPSI_{t-1}$	0	0.004**	0.002	0.004**	0.004**	0.002	0	0.003*	0.002	0.005***
	[0.006]	[0.002]	[0.002]	[0.001]	[0.001]	[0.005]	[0.001]	[0.001]	[0.001]	[0.001]
Hansen										
J	55.1	37.8	42.5	55.5	54.9	50.5	62.5	46.9	51.1	79.7
p-value	0.223	0.855	0.696	0.213	0.247	0.376	0.528	0.518	0.353	0.003
N	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288

* Significativo al 10%; significativo al 5%; significativo all'1%. *kict*=logaritmo dello stock di capitale ICT per ora lavorata; *knoict*= logaritmo dello stock di capitale non-ICT per ora lavorata; TAX=tassazione ambientale; FIT= Tariffe di Introduzione (*feed-in tariffs*); RDS= sussidi alla R&S; STD=standard qualitativi; TRS=sistemi di commercio di emissioni.

Fonte: elaborazioni su dati OCSE.

I principali risultati dell'analisi empirica possono essere sintetizzati come segue: i) un maggior rigore della legislazione ambientale contribuisce positivamente alla crescita della produttività (conferma IP *strong*); ii) l'effetto è maggiore nei paesi ad alta intensità di capitale ICT (conferma della IP *weak*); iii) le politiche di mercato sembrano avere gli effetti maggiori, (conferma IP *narrow*), tuttavia, la significatività dell'impatto di alcuni strumenti di comando e controllo evidenzia l'importanza della complementarietà tra le diverse tipologie di regolamentazione.

5. Conclusioni

La pandemia di Covid-19 ha contribuito a rendere la transizione ecologica dei paesi, in atto da diversi decenni, un elemento imprescindibile del processo di ripresa economica a livello internazionale. Il sistema produttivo si trova quindi a dovere incorporare nelle proprie strategie aziendali una regolamentazione ambientale che diventerà nei prossimi anni

sempre più stringente. Questa circostanza rende cruciale la comprensione delle interazioni tra politiche per la salvaguardia dell'ambiente e produttività.

In questo lavoro sono stati analizzati empiricamente gli effetti della politica ambientale sulla crescita della produttività per 18 paesi OCSE nel periodo 1990-2015. I risultati supportano l'ipotesi di Porter nelle sue tre versioni *weak*, *strong* e *narrow*.

Si conferma, dunque, che l'utilizzo di politiche ambientali più stringenti, dovuto alla necessità di velocizzare il processo di transizione ecologica, rappresenti per i principali paesi OCSE anche un'opportunità per incrementare innovazione tecnologica e produttività.

Sebbene l'evidenza non sia conclusiva, gli strumenti di mercato e quelli di comando e controllo sono, nel campione esaminato, efficaci a stimolare la produttività. Si nota, inoltre, che per i paesi con una minore intensità di capitale ICT gli strumenti di mercato (tasse e schemi di commercio di emissioni) sembrerebbero essere più efficaci a innescare una sinergia tra protezione ambientale e produttività, coerentemente con la versione *narrow* dell'ipotesi di Porter.

Nei paesi a maggiore intensità di capitale ICT, invece, oltre all'efficacia degli strumenti di mercato, si evidenzia un ruolo importante per quelli di comando e controllo (sussidi alla R&S e standard qualitativi) che rivestono un ruolo duplice, contribuendo sia alla crescita della produttività sia all'accumulazione di capitale ICT.

Appendice

Tabella A1 - Descrizione dei dati

Variabile	Descrizione	Fonte
HLP ea	Produttività del lavoro oraria aggiustata per tener conto delle variabili ambientali: tasso di crescita del PIL aggiustato meno il tasso di crescita delle ore lavorate (in logaritmi)	OCSE
MFP	Produttività multifattoriale aggiustata per tener conto delle variabili ambientali	OCSE
kict	Stock di capitale ICT per ora lavorata (in logaritmi)	OCSE, EUKLEMS
knoict	Stock di capitale non ICT per ora lavorata (in logaritmi)	OCSE, EUKLEMS
EPST	Indice di rigore della legislazione ambientale totale	OCSE
EPSM	Indice di rigore della legislazione ambientale: componenti di mercato	OCSE
EPSNM	Indice di rigore della legislazione ambientale: componenti non di mercato	OCSE
TAX	Indice di rigore della legislazione ambientale: tassazione	OCSE
FIT	Indice di rigore della legislazione ambientale: tariffe di introduzione	OCSE
RDS	Indice di rigore della legislazione ambientale: sussidi alla R&S	OCSE
STD	Indice di rigore della legislazione ambientale: standard qualitativi	OCSE
TS	Indice di rigore della legislazione ambientale: schemi di commercio di emissioni	OCSE

Tabella A2 - Statistiche descrittive

	media	dev. standard	min	max
Δmfp	0.014	0.022	-0.093	0.114
Δhlp	0.021	0.022	-0.083	0.110
$\Delta kict$	0.041	0.035	-0.103	0.259
$\Delta knoict$	0.054	0.105	-0.886	0.465
ΔEPS	0.101	0.299	-0.633	1.113
$\Delta EPSMKT$	0.071	0.391	-1.167	2.083
$\Delta EPSNMKT$	0.132	0.442	-1.000	1.875
ΔTAX	0.020	0.254	-1.000	1.500
ΔRDS	0.066	0.690	-2.000	3.000
ΔSTD	0.197	0.560	0.000	3.500
ΔFIT	0.110	0.948	-4.000	5.500
ΔTRS	0.085	0.776	-2.000	2.600

Fonte: nostre elaborazioni su OECD.Stat, EUKLEMS.